

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté de génie
Département de génie civil

INFLUENCE DES CONNECTEURS SUR LA
RÉSISTANCE, LA RIGIDITÉ ET LE COÛT DES
DIAPHRAGMES HYBRIDES EN ACIER SUR
CHARPENTES DE BOIS DANS LES TOITURES DE
BÂTIMENTS

Mémoire de maîtrise

Spécialité : génie civil

Simon BOUCHER

Jury : Charles-Philippe Lamarche (directeur)

Sébastien Langlois

Alexander Salenikovich

RÉSUMÉ

Ce mémoire s'inscrit dans un contexte où le nombre de constructions hybrides impliquant l'utilisation de divers matériaux de construction de différentes natures est sans cesse grandissant. Il y a donc une demande croissante de l'industrie de la construction pour établir une meilleure compréhension du comportement structural et des coûts associés aux constructions hybrides. Le projet de recherche s'intéresse à l'utilisation possible d'un pontage métallique comme diaphragme de toit dans une charpente en bois. Le mémoire présente l'étude de plusieurs connecteurs types permettant de joindre un pontage métallique à une charpente en bois. Pour chaque type de connecteur étudié, le comportement mécanique des assemblages a été caractérisé expérimentalement. Les facteurs d'évaluation de la performance des connecteurs sont : la résistance et la rigidité des assemblages, le mode de rupture, la facilité et rapidité d'installation des connecteurs, l'effet du comportement des assemblages sur le comportement global d'un diaphragme de toit, et l'effet du choix d'un type de connecteur donné sur le coût global de construction d'un diaphragme. La méthode de détermination de la résistance élastique ainsi que de la rigidité expérimentale d'un connecteur ont aussi été évaluées. Sur la base des résultats issus des essais expérimentaux, une méthodologie de conception des diaphragmes de toit acier-bois est proposée et des tables de calcul de conception de diaphragmes ont été produites. La portée de ce projet se limite à des pontages de type P-3606 de CANAM, communément utilisés dans les bâtiments de faible à moyenne hauteur. Les connecteurs étudiés sont de type « pointe » (vis, clous) installés sur le dessus de la toiture à l'aide d'équipements pneumatiques. Les méthodes de calcul de la résistance élastique et de la rigidité des assemblages proposées par la norme CSA O86-14 : Règles de calcul des charpentes en bois sont comparées aux résultats expérimentaux et certaines recommandations sont émises quant à leur utilisation. Une méthode de conception du diaphragme de toit est proposée. Finalement, une analyse économique basée sur l'étude d'un bâtiment type comparant différentes configurations de connecteurs et solutions de conception est présentée.

Bâtiment hybride, acier, bois, connecteur, diaphragme, toiture.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	I
TABLE DES MATIÈRES.....	III
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
1. INTRODUCTION	1
2. REVUE DE LITTÉRATURE	3
2.1. Méthode de conception d'un assemblage acier-bois	3
2.1.1. Résistance élastique du connecteur selon la norme CSA O86-14.....	3
2.1.2. Résistance élastique du connecteur selon la méthode MCA modifiée	9
2.1.3. Comparaison des deux méthodes de calcul de la résistance	10
2.1.4. Rigidité théorique des assemblages.....	10
2.2. Comportement mécanique expérimental des assemblages	12
2.2.1. Résistance élastique expérimentale d'un assemblage.....	12
2.2.2. Rigidité expérimentale des assemblages.....	14
2.2.3. Résistance ultime des assemblages.....	15
2.3. Méthode de conception d'un diaphragme en acier	15
2.3.1. Résistance élastique d'un diaphragme en acier	15
2.3.2. Rigidité d'un diaphragme en acier.....	19
2.4. Synthèse de la littérature et apport du projet de recherche	23
3. DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET ANALYSE EXPÉRIMENTALE	25
3.1. Méthodologie	25
3.1.1. Informations sur les composantes	26
3.1.2. Montage expérimental pour les essais sur connexions acier-bois	33
3.1.3. Traitement des données.....	35
3.1.4. Pré-analyse de la performance des méthodes.....	36
3.2. Présentation et analyse des résultats expérimentaux	37
3.2.1. Série d'essais Clou toit #11 1½ - 20.....	40
3.2.2. Série d'essais Clou toit #11 1½ - 22	42
3.2.3. Série d'essais ITW R4 – 20.....	45
3.2.4. Série d'essais ITW R4 - 22	47
3.2.5. Série d'essais ITW RSS – 20	49
3.2.6. Série d'essais ITW RSS – 22	51
3.2.7. Série d'essais SST HJ – 20.....	53
3.2.8. Série d'essais SST HJ – 22.....	56
3.2.9. Série d'essais SST PCULP – 20.....	58
3.2.10. Série d'essais SST PCULP – 22.....	60
3.2.11. Série d'essais Rotho TBS 6x80 – 20	62
3.2.12. Série d'essais Rotho TBS 6x80 – 22	65

3.3.	Comparaison des résultats expérimentaux	68
3.3.1.	Résultats obtenus selon la méthode d'analyse.....	68
3.3.2.	Résistance et rigidité des assemblages	69
3.3.3.	Résistance et rigidité des assemblages selon la forme du connecteur.....	75
3.3.4.	Facilité d'installation des connecteurs	83
3.4.	Conclusions.....	84
4.	CONCEPTION D'UN DIAPHRAGME EN ACIER.....	87
4.1.	Comparaison entre les diaphragmes acier-acier et acier-bois	87
4.1.1.	Configurations des d'assemblages	88
4.1.2.	Calcul de résistance.....	89
4.1.3.	Calcul de rigidité.....	91
4.1.4.	Validation du chiffrier de calcul	92
4.1.5.	Production des tables de calcul pour diaphragme acier-bois.....	94
4.1.6.	Comparaison diaphragmes acier-bois vs acier-acier	98
4.2.	Configurations supplémentaires.....	99
4.2.1.	Comparaison des configurations densifiées.....	101
5.	ANALYSE ÉCONOMIQUE	103
5.1.	Méthodologie	103
5.1.1.	Données économiques.....	103
5.1.2.	Bâtiment type	105
5.2.	Conceptions de diaphragme de toit pour le bâtiment type	111
5.2.1.	Configuration Clou.....	114
5.2.2.	Configuration SST-HJ.....	115
5.2.3.	Configuration Rotho TBS 6x80	117
5.2.4.	Configuration Optimisée	118
5.3.	Limitations liées au bâtiment type	120
5.4.	Conceptions en fonction des charges réduites	121
5.4.1.	Configuration Clou avec charges réduites.....	122
5.4.2.	Configuration SST-HJ avec charges réduites	123
5.4.3.	Configuration Rotho TBS 6x80 avec charges réduites.....	125
5.4.4.	Configuration Optimisée avec charges réduites	126
5.5.	Comparaison des résultats	128
5.5.1.	Influence du pontage	129
5.5.2.	Influence du pré-perçage	131
5.5.3.	Influence du choix de connecteur	134
5.6.	Conclusions.....	135
6.	CONCLUSION	137
7.	RÉFÉRENCES.....	141
ANNEXE A.	RÉSULTATS D'ESSAIS D'ENFONCEMENT DU BOIS	143
A.1.	Essais Vitesse 0.1 mm/min.....	143

A.2.	Essais Vitesse 1 mm/min	144
A.3.	Essais Vitesse 10 mm/min	145
ANNEXE B.	TABLEAUX DES RÉSULTATS D'ESSAIS.....	147
B.1.	Essais Clou toit #11 1-1/2-20.....	147
B.2.	Essais Clou toit #11 1-1/2-22.....	150
B.3.	Essais ITW-R4-20	153
B.4.	Essais ITW-R4-22	155
B.5.	Essais ITW-RSS-20.....	157
B.6.	Essais ITW-RSS-22.....	159
B.7.	Essais SST-HJ-20	161
B.8.	Essais SST-HJ-22	164
B.9.	Essais SST-PCULP-20	167
B.10.	Essais SST-PCULP-22	169
B.11.	Essais Rotho-TBS-6x80-20.....	171
B.12.	Essais Rotho-TBS-6x80-22.....	174
ANNEXE C.	REPRODUCTION DES TABLES DE CALCUL ACIER-ACIER.....	177
ANNEXE D.	TABLES DE CALCUL DE DIAPHRAGME	183
D.1.	CANAM P-3606-20 - Clou toit #11 1-1/2.....	184
D.2.	CANAM P-3606-22 - Clou toit #11 1-1/2.....	189
D.3.	CANAM P-3606-20 – SST-HJ	194
D.4.	CANAM P-3606-22 – SST-HJ	199
D.5.	CANAM P-3606-20 – Rotho-TBS-6x80.....	204
D.6.	CANAM P-3606-22 – Rotho-TBS-6x80.....	209
ANNEXE E.	CONFIGURATIONS SUPPLÉMENTAIRES POUR ANALYSE ÉCONOMIQUE	215
E.1.	Notes de calculs.....	215
E.1.1.	Calcul charge sismique	215
E.1.2.	Calcul charge de vent.....	219
E.2.	Configuration Clou avec charges réduites si pontage restreint à type 20.....	221
E.3.	Configuration SST-HJ avec charges réduites si pontage restreint à type 20	223
E.4.	Configuration Rotho TBS 6x80 avec charges réduites si pontage restreint à type 20	225
E.5.	Configuration Optimisée avec charges réduites si pontage restreint à type 20.....	227
E.6.	Configuration SST-HJ avec charges réduites si pré-perçage.....	229

E.7.	Configuration Optimisée avec charges réduites si pré-perçage.....	231
E.8.	Configuration Rotho TBS 6x80 avec charges réduites si aucun pré-perçage	233
E.9.	Configuration Optimisée avec charges réduites si aucun pré-perçage.....	235
ANNEXE F.	ESSAIS À GRANDE DIMENSION.....	237

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Schéma générique d'un diaphragme acier-bois	2
Figure 2.2-1 : Méthode du 5% du diamètre, image de Muñoz et al. [13]	13
Figure 2.2-2 : Méthode du CEN, image de Muñoz et al. [13]	13
Figure 2.2-3 : Méthode de Y&K, image de Muñoz et al. [13]	13
Figure 2.3-1 : Distribution des efforts aux connecteurs au périmètre	15
Figure 2.3-2 : Distribution des efforts aux connecteurs intérieurs	16
Figure 2.3-3 : Distribution des efforts aux connecteurs aux coins	16
Figure 2.3-4 : Dimensions d'une ondulation de pontage	19
Figure 3.1-1 : Type de connecteur	28
Figure 3.1-2 : Montage essai d'enfoncement	31
Figure 3.1-3 : Montage mesure masse volumique	31
Figure 3.1-4 : Échantillon type	34
Figure 3.1-5 : Montage expérimental essai de traction	34
Figure 3.1-6 : Montage ASTM D1761-12	35
Figure 3.1-7 : Résistances calculées et zone de résistance élastique réelle pour l'essai ITW-R4-20-2	37
Figure 3.2-1 : Courbe force-déplacement typique : essai Clou toit #11 1-1/2-20-4	41
Figure 3.2-2 : État du clou suite à la rupture de l'assemblage Clou toit #11 1-1/2-20-4	41
Figure 3.2-3 : État de la section de bois à la rupture de l'assemblage Clou toit #11 1-1/2-20-4	41
Figure 3.2-4 : Courbe force-déplacement typique : essai Clou toit #11 1-1/2-22-13	43
Figure 3.2-5 : État du clou suite à la rupture de l'assemblage Clou toit #11 1-1/2-22-13	44
Figure 3.2-6 : État de la section de bois à la rupture de l'assemblage Clou toit #11 1-1/2-20-4	44
Figure 3.2-7 : Courbe force-déplacement typique : essai ITW R4-20-2	46
Figure 3.2-8 : État de la vis suite à l'essai ITW-R4-20-2	47
Figure 3.2-9 : Déchirure de la tôle suite à l'essai ITW-R4-20-2	47
Figure 3.2-10 : Courbe force-déplacement typique : essai ITW-R4-22-5	48
Figure 3.2-11 : État de la vis suite à l'essai ITW-R4-22-5	49
Figure 3.2-12 : Déchirure de la tôle suite à l'essai ITW-R4-22-5	49
Figure 3.2-13 : Courbe force-déplacement typique : essai ITW-RSS-20-1	50
Figure 3.2-14 : Section montrant l'état de la vis suite à l'essai ITW-RSS-20-1	51
Figure 3.2-15 : Déchirure de la tôle suite à l'essai ITW-RSS-20-1	51
Figure 3.2-16 : Courbe force-déplacement typique : essai ITW-RSS-22-4	52
Figure 3.2-17 : État de la vis suite à l'essai ITW-RSS-22-4	53
Figure 3.2-18 : Déchirure de la tôle suite à l'essai ITW-RSS-22-4	53
Figure 3.2-19 : Courbe force-déplacement typique : essai SST-HJ-20-10	54
Figure 3.2-20 : Section montrant l'état de la vis suite à l'essai SST-HJ-20-10	55
Figure 3.2-21 : État de la vis suite à l'essai SST-HJ-20-10	55
Figure 3.2-22 : Courbe force-déplacement typique : essai SST-HJ-22-4	57
Figure 3.2-23 : État de la vis suite à l'essai SST-HJ-22-4	57
Figure 3.2-24 : Compression de la tôle suite à l'essai SST-HJ-22-4	57
Figure 3.2-25 : Courbe force-déplacement typique : essai SST-PCULP-20-5	59
Figure 3.2-26 : Section montrant le mode de rupture de l'essai SST-PCULP-20-5	60

Figure 3.2-27 : Compression de la tôle suite à l'essai SST-PCULP-20-5.....	60
Figure 3.2-28 : Courbe force-déplacement typique : essai SST-PCULP-22-5.....	61
Figure 3.2-29 : Section montrant le mode de rupture de l'essai SST-PCULP-22-5.....	62
Figure 3.2-30 : Déchirure de la tôle suite à l'essai SST-PCULP-22-5.....	62
Figure 3.2-31 : Courbe force-déplacement typique : essai Rotho-TBS-6x80-20-6.....	64
Figure 3.2-32 : Section montrant le mode de rupture de l'essai Rotho-TBS-6x80-20-6.....	64
Figure 3.2-33 : Déchirure de la tôle suite à l'essai Rotho-TBS-6x80-20-6.....	64
Figure 3.2-34 : Courbe force-déplacement typique : essai Rotho-TBS-6x80-22-2.....	66
Figure 3.2-35 : État de la vis suite à l'essai Rotho-TBS-6x80-22-2.....	67
Figure 3.2-36 : Déchirure de la tôle suite à l'essai Rotho-TBS-6x80-22-2.....	67
Figure 3.3-1 : Comparaison de la résistance des assemblages testés (kN).....	72
Figure 3.3-2 : Comparaison de la rigidité des assemblages testés (kN/mm).....	74
Figure 3.3-3 : Courbes force-déplacement des essais correspondant à la valeur médiane de résistance élastique pour les connecteurs de 38.1 mm.....	78
Figure 3.3-4 : Courbes force-déplacement des essais correspondant à la valeur médiane de résistance élastique pour les connecteurs de 76.2 mm.....	80
Figure 3.3-5 : Courbes force-déplacement et rigidité des essais correspondant à la valeur médiane de rigidité élastique pour les connecteurs de 38.1 mm.....	82
Figure 3.3-6 : Courbes force-déplacement et rigidité des essais correspondant à la valeur médiane de rigidité élastique pour les connecteurs de 76.2 mm.....	83
Figure 4.1-1 : Patrons d'assemblage existants.....	88
Figure 4.1-2 : Diagramme général d'un diaphragme.....	89
Figure 4.2-1 : Patrons d'assemblage supplémentaires.....	100
Figure 5.1-1 : Bâtiment type original (plan fourni par Structure Fusion).....	105
Figure 5.1-2 : Bâtiment type modifié.....	106
Figure 5.1-3 : Diagramme d'efforts tranchants sismiques.....	109
Figure 5.4-1 : Diagramme d'efforts tranchants sous les efforts sismiques réduits.....	121
Figure A.1-1 : Courbe force-déplacement : Enfoncement à 0.1 mm/min.....	143
Figure A.2-1 : Courbe force-déplacement : Enfoncement à 1 mm/min.....	144
Figure A.3-1 : Courbe force-déplacement : Enfoncement à 10 mm/min.....	145
Figure B.1-1 : Courbe force-déplacement : essais Clou toit #11 1-1/2-20.....	147
Figure B.2-1 : Courbe force-déplacement : essais Clou toit #11 1-1/2-22.....	150
Figure B.3-1 : Courbe force-déplacement : essais ITW-R4-20.....	153
Figure B.4-1 : Courbe force-déplacement : essais ITW-R4-22.....	155
Figure B.5-1 : Courbe force-déplacement : essais ITW-RSS-20.....	157
Figure B.6-1 : Courbe force-déplacement : essais ITW-RSS-22.....	159
Figure B.7-1 : Courbe force-déplacement : essais SST-HJ-20.....	161
Figure B.8-1 : Courbe force-déplacement : essais SST-HJ-22.....	164
Figure B.9-1 : Courbe force-déplacement : essais SST-PCULP-20.....	167
Figure B.10-1 : Courbe force-déplacement : essais SST-PCULP-22.....	169
Figure B.11-1 : Courbe force-déplacement : essais Rotho-TBS-6x80-20.....	171
Figure B.12-1 : Courbe force-déplacement : essais Rotho-TBS-6x80-22.....	174
Figure F-1 : Montage expérimental pour essai à grande échelle.	237

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.3-1 : Valeurs de ρ en fonction de la portée	20
Tableau 3.1-1 : Caractéristiques des connecteurs.....	27
Tableau 3.1-2 : Propriétés des connecteurs	27
Tableau 3.1-3 : Caractéristiques des pontages métalliques.....	28
Tableau 3.1-4 : Résultats essais de conformité des types de pontage.....	29
Tableau 3.1-5 : Résistance maximal à l'enfoncement moyen et rigidité.....	31
Tableau 3.1-6 : Densité relative à sec et à 12 % de taux d'humidité.....	32
Tableau 3.1-7 : Densité relative à sec et à 12 % de taux d'humidité.....	32
Tableau 3.2-1 : Liste des essais et variables utilisées	38
Tableau 3.2-2 : Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-20.....	42
Tableau 3.2-3 : Suite Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-20.....	42
Tableau 3.2-4 : Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-22.....	44
Tableau 3.2-5 : Suite Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-22.....	45
Tableau 3.2-6 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-R4-20	47
Tableau 3.2-7 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-R4-22	49
Tableau 3.2-8 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-RSS-20.....	51
Tableau 3.2-9 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-RSS-22.....	53
Tableau 3.2-10 : Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-20	55
Tableau 3.2-11 : Suite Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-20	56
Tableau 3.2-12 : Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-22	58
Tableau 3.2-13 : Suite Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-22	58
Tableau 3.2-14 : Résistance élastique et ultime : essais SST-PCULP-20	60
Tableau 3.2-15 : Résistance élastique et ultime : essais SST-PCULP-22	62
Tableau 3.2-16 : Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-20-6	65
Tableau 3.2-17 : Suite Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-20-6.....	65
Tableau 3.2-18 : Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-22-2	67
Tableau 3.2-19 : Suite Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-22-2.....	67
Tableau 3.3-1 : Valeurs de résistance élastique moyenne pondérée théorique selon CSA (kN).....	70
Tableau 3.3-2 : Valeurs de résistance élastique latérale moyenne (kN)	71
Tableau 3.3-3 : Valeurs de rigidité (kN/mm)	73
Tableau 3.3-4 : Valeurs de surcapacité, de ductilité et de déplacement à l'ultime expérimentale	75
Tableau 3.3-5 : Valeurs de résistance élastique moyenne triées en fonction de la longueur des connecteurs (kN).....	76
Tableau 3.3-6 : Valeurs de résistance ultime moyenne triées en fonction de la longueur des connecteurs (kN).....	77
Tableau 3.3-7 : Valeurs de rigidité élastique triées en fonction de la longueur des connecteurs (kN/mm).....	81
Tableau 4.1-1 : Résistance pondérée en cisaillement du connecteur principal (kN).....	90
Tableau 4.1-2 : Résistance pondérée en cisaillement du connecteur aux joints latéraux (kN) [27]	90
Tableau 4.1-3 : Rigidité pondérée en cisaillement du connecteur principal (kN).....	91
Tableau 4.1-4 : Rigidité du connecteur latéral au joint.....	91

Tableau 4.1-5 : Valeurs de D pour patrons d'assemblage existants en fonction du pontage pour calcul en SI	92
Tableau 4.1-6 : Résistance pondérée en cisaillement du connecteur principal pour assemblage acier-acier	92
Tableau 4.1-7 : Rigidité pondérée pour assemblage acier-acier	93
Tableau 4.1-8 : CANAM P 3606 20 - ROTHO TBS 6X80 (SUITE)	96
Tableau 4.2-1 : Espacement minimum (nombre de diamètre de connecteur)	99
Tableau 4.2-2 : Valeurs de D pour patron d'assemblage supplémentaires en fonction du pontage pour calcul en SI	100
Tableau 5.1-1 : Coût des matériaux.....	104
Tableau 5.1-2 : Installation d'un connecteur principal	104
Tableau 5.1-3 : Charges de conception	106
Tableau 5.1-4 : Résistance des contreventements situés entre le deuxième plancher et le toit	107
Tableau 5.1-5 : Efforts de conception dans le diaphragme de toit.....	107
Tableau 5.1-6 : Efforts critiques de cisaillement causés par le vent et un séisme selon chacun des axes (kN/m)	108
Tableau 5.1-7 : Efforts critiques de cisaillement	108
Tableau 5.1-8 : Déformation permise pour le bâtiment type modifié	109
Tableau 5.1-9 : Déformations en flexion dans le diaphragme de toit	110
Tableau 5.1-10 : Déformations dans les SRFS	110
Tableau 5.1-11 : G' requise pour chaque type de chargement	111
Tableau 5.2-1 : Liste des configurations évaluées dans l'analyse économique	111
Tableau 5.2-2 : Propriétés des sections évaluées	112
Tableau 5.2-3 : Configuration CLOU - Conception.....	114
Tableau 5.2-4 : Configuration CLOU - Ventilation des coût (en \$)	115
Tableau 5.2-5 : Configuration SST-HJ – Conception	116
Tableau 5.2-6 : Configuration SST-HJ - Ventilation des coût (en \$).....	116
Tableau 5.2-7 : Configuration ROTHO-TBS – Conception.....	117
Tableau 5.2-8 : Configuration ROTHO-TBS - Ventilation des coût (en \$)	118
Tableau 5.2-9 : Configuration OPTIMISÉE – Conception	119
Tableau 5.2-10 : Configuration OPTIMISÉE - Ventilation des coût (en \$).....	120
Tableau 5.4-1 : Propriétés des sections évaluées sous charge réduite.....	121
Tableau 5.4-2 : Configuration CLOU avec charges réduites – Conception	122
Tableau 5.4-3 : Configuration CLOU avec charges réduites - Ventilation des coût (en \$)	123
Tableau 5.4-4 : Configuration SST-HJ avec charges réduites – Conception	124
Tableau 5.4-5 : Configuration SST-HJ avec charges réduites - Ventilation des coût (en \$)...	124
Tableau 5.4-6 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites – Conception.....	125
Tableau 5.4-7 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites – Ventilation des coût (en \$).....	126
Tableau 5.4-8 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites – Conception	127
Tableau 5.4-9 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites - Ventilation des coût (en \$).....	128
Tableau 5.5-1 : Ventilation des couts par surface en fonction des sections de toit.....	128
Tableau 5.5-2 : Ventilation des coûts par surface en fonction des sources de coût	129
Tableau 5.5-3 : Ventilation des coûts par surface en fonction du type de pontage.....	130

Tableau 5.5-4 : Comparaison des coûts totaux par surface en fonction du type de pontage (\$/m ²)	131
Tableau 5.5-5 : Ventilation des coûts par surface en fonction des sources de coût	133
Tableau 5.5-6 : Comparaison des coûts par surface total en fonction du pré-perçage (\$/m ²).	133
Tableau 5.5-7 : Comparaison des coûts par unité de surface en fonction du connecteur utilisé (\$/m ²)	134
Tableau A.1-1 : Essai enfoncement du bois à 0.1 mm/min.....	143
Tableau A.2-1 : Essai enfoncement du bois à 1 mm/min	144
Tableau A.3-1 : Essai enfoncement du bois à 10 mm/min	145
Tableau B.1-1 : Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-20	147
Tableau B.1-2 : Déplacement élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-20	148
Tableau B.1-3 : Ductilité : essais Clou toit #11 1-1/2-20	148
Tableau B.1-4 : Sur-résistance inélastique : essais Clou toit #11 1-1/2-20	149
Tableau B.1-5 : Valeurs de rigidité : essais : Clou toit #11 1-1/2-20	149
Tableau B.2-1 : Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-22	150
Tableau B.2-2 : Déplacement élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-22	151
Tableau B.2-3 : Ductilité : essais Clou toit #11 1-1/2-22	151
Tableau B.2-4 : Sur-résistance inélastique : essais Clou toit #11 1-1/2-22	152
Tableau B.2-5 : Valeurs de rigidité : essais : Clou toit #11 1-1/2-22	152
Tableau B.3-1 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-R4-20.....	153
Tableau B.3-2 : Déplacement élastique et ultime : essais ITW-R4-20.....	153
Tableau B.3-3 : Ductilité : essais ITW-R4-20.....	154
Tableau B.3-4 : Sur-résistance inélastique : essais ITW-R4-20.....	154
Tableau B.3-5 : Valeurs de rigidité : essais ITW-R4-20.....	154
Tableau B.4-1 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-R4-22.....	155
Tableau B.4-2 : Déplacement élastique et ultime : essais ITW-R4-22.....	155
Tableau B.4-3 : Ductilité : essais ITW-R4-22.....	156
Tableau B.4-4 : Sur-résistance inélastique : essais ITW-R4-22.....	156
Tableau B.4-5 : Valeurs de rigidité : essais ITW-R4-22.....	156
Tableau B.5-1 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-RSS-20	157
Tableau B.5-2 : Déplacement élastique et ultime : essais ITW-RSS-20	157
Tableau B.5-3 : Ductilité : essais ITW-RSS-20	158
Tableau B.5-4 : Sur-résistance inélastique : essais ITW-RSS-20	158
Tableau B.5-5 : Valeurs de rigidité : essais ITW-RSS-20	158
Tableau B.6-1 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-RSS-22	159
Tableau B.6-2 : Déplacement élastique et ultime : essais ITW-RSS-22	159
Tableau B.6-3 : Ductilité : essais ITW-RSS-22	160
Tableau B.6-4 : Sur-résistance inélastique : essais ITW-RSS-22	160
Tableau B.6-5 : Valeurs de rigidité : essais ITW-RSS-22	160
Tableau B.7-1 : Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-20	161
Tableau B.7-2 : Déplacement élastique et ultime : essais SST-HJ-20.....	162
Tableau B.7-3 : Ductilité : essais SST-HJ-20.....	162
Tableau B.7-4 : Sur-résistance inélastique : essais SST-HJ-20.....	163
Tableau B.7-5 : Valeurs de rigidité : essais SST-HJ-20	163
Tableau B.8-1 : Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-22	164
Tableau B.8-2 : Déplacement élastique et ultime : essais SST-HJ-22.....	165
Tableau B.8-3 : Ductilité : essais SST-HJ-22.....	165

Tableau B.8-4 : Sur-résistance inélastique : essais SST-HJ-22	166
Tableau B.8-5 : Valeurs de rigidité : essais SST-HJ-22	166
Tableau B.9-1 : Résistance élastique et ultime : essais SST-PCULP-20	167
Tableau B.9-2 : Déplacement élastique et ultime : essais SST-PCULP-20.....	167
Tableau B.9-3 : Ductilité : essais SST-PCULP-20	168
Tableau B.9-4 : Sur-résistance inélastique : essais SST-PCULP-20.....	168
Tableau B.9-5 : Valeurs de rigidité : essais SST-PCULP-20	168
Tableau B.10-1 : Résistance élastique et ultime : essais SST-PCULP-22	169
Tableau B.10-2 : Déplacement élastique et ultime : essais SST-PCULP-22.....	169
Tableau B.10-3 : Ductilité : essais SST-PCULP-22.....	170
Tableau B.10-4 : Sur-résistance inélastique : essais SST-PCULP-22.....	170
Tableau B.10-5 : Valeurs de rigidité : essais SST-PCULP-22	170
Tableau B.11-1 : Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-20.....	171
Tableau B.11-2 : Déplacement élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-20.....	172
Tableau B.11-3 : Ductilité : essais Rotho-TBS-6x80-20.....	172
Tableau B.11-4 : Sur-résistance inélastique : essais Rotho-TBS-6x80-20.....	173
Tableau B.11-5 : Valeurs de rigidité : essais Rotho-TBS-6x80-20.....	173
Tableau B.12-1 : Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-22.....	174
Tableau B.12-2 : Déplacement élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-22.....	175
Tableau B.12-3 : Ductilité : essais Rotho-TBS-6x80-22.....	175
Tableau B.12-4 : Sur-résistance inélastique : essais Rotho-TBS-6x80-22.....	176
Tableau B.12-5 : Valeurs de rigidité : essais Rotho-TBS-6x80-22.....	176
Tableau D.1-1 : CANAM P-3606-20 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)	184
Tableau D.2-1 : CANAM P-3606-22 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)	189
Tableau D.3-1 : CANAM P-3606-20 – SST-HJ (Suite).....	194
Tableau D.4-1 : CANAM P-3606-22 – SST-HJ (Suite).....	199
Tableau D.5-1 : CANAM P-3606-20 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)	204
Tableau D.6-1 : CANAM P-3606-22 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)	209
Tableau E.1-1 : Force totale F_i (kN).....	216
Tableau E.1-2 : Force axiale par membrure V_{fi} (kN).....	216
Tableau E.1-3 : Résistance en tension V_{ri} (kN)	217
Tableau E.1-4 : Résistance en compression V_{ri} (kN).....	217
Tableau E.1-5 : Efforts à la capacité dans le diaphragme (kN)	217
Tableau E.1-6 : Déplacement horizontale par membrure (mm)	218
Tableau E.1-7 : Déplacement horizontale total Δf (mm).....	218
Tableau E.1-8 : Valeur de $C_p C_g$	219
Tableau E.1-9 : Pression totale du vent (kPa).....	220
Tableau E.1-10 : Efforts pondérés du vent par contreventement (kN).....	220
Tableau E.1-11 : Efforts pondérés totaux V_f du vent (kN).....	220
Tableau E.2-1 : Configuration CLOU avec charges réduites-20 – Conception.....	221
Tableau E.2-2 : Configuration CLOU avec charges réduites-20 - Ventilation des coût (en \$).....	222
Tableau E.3-1 : Configuration SST-HJ avec charges réduites-20 – Conception.....	223
Tableau E.3-2 : Configuration SST-HJ avec charges réduites-20 - Ventilation des coût (en \$).....	224
Tableau E.4-1 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites-20 – Conception	225

Tableau E.4-2 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites-20 - Ventilation des coût (en \$).....	226
Tableau E.5-1 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-20 – Conception	227
Tableau E.5-2 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-20 - Ventilation des coût (en \$).....	228
Tableau E.6-1 : Configuration SST-HJ avec charges réduites-PP – Conception.....	229
Tableau E.6-2 : Configuration SST-HJ avec charges réduites-PP - Ventilation des coût (en \$).....	230
Tableau E.7-1 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-PP – Conception.....	231
Tableau E.7-2 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-PP - Ventilation des coût (en \$).....	232
Tableau E.8-1 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites-NPP – Conception.....	233
Tableau E.8-2 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites-NPP - Ventilation des coût (en \$).....	234
Tableau E.9-1 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites –NPP – Conception.....	235
Tableau E.9-2 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-NPP – Ventilation des coût (en \$).....	236

1. INTRODUCTION

Ce mémoire présente les résultats d'un projet de recherche effectué en partenariat avec la compagnie de génie conseil Structure Fusion et l'organisme subventionnaire Mitacs. Le projet s'inscrit dans un contexte où le nombre de constructions hybrides impliquant l'utilisation de divers matériaux de construction de différentes natures est sans cesse grandissant. Il y a donc une demande croissante de l'industrie de la construction pour établir une meilleure compréhension du comportement structural et des coûts associés aux constructions hybrides. Le projet de recherche s'intéresse à l'utilisation possible d'un pontage métallique comme diaphragme de toit dans une charpente en bois. L'état des connaissances sur les structures avec pontages métalliques installés sur des charpentes de bois est très limité et l'influence du type de connecteur utilisé sur le comportement structural des diaphragmes est encore méconnu. Or, le comportement propre à chaque type de connecteur aura une influence importante sur le comportement global de l'ensemble. La présente recherche vise entre autre à éclaircir ce point.

Les objectifs principaux de ce projet de recherche sont : 1) de déterminer quels sont les types de connecteurs optimaux pour joindre un pontage métallique à une charpente en bois, 2) de caractériser le comportement mécanique des assemblages en lien avec les types de connecteurs étudiés, 3) d'établir une méthodologie de conception d'un diaphragme de toit acier-bois, 4) de produire des tables de calcul de conception de diaphragmes, 5) d'effectuer une analyse économique.

La mise à bien de ce projet de recherche permettra de proposer un connecteur optimal pour joindre un pontage d'acier à une charpente en bois en tenant compte de plusieurs facteurs tels que : la résistance et la rigidité des assemblages, le mode de rupture des assemblages, la facilité et rapidité d'installation des connecteurs, l'effet du comportement des connecteurs sur le comportement global d'un diaphragme de toit, l'effet du choix d'un type de connecteur donné sur le coût global de construction d'un diaphragme. La portée de ce projet se limite à un pontage typiquement utilisé dans l'industrie, soit le P-3606 de CANAM, communément utilisé dans les bâtiments de faible à moyenne hauteur. Les connecteurs ciblés sont de type « pointe » (vis, clou) installés sur le dessus de la toiture à l'aide d'équipements pneumatiques. La Figure 1-1 présente un schéma générique du type de système de diaphragme qui est à l'étude.

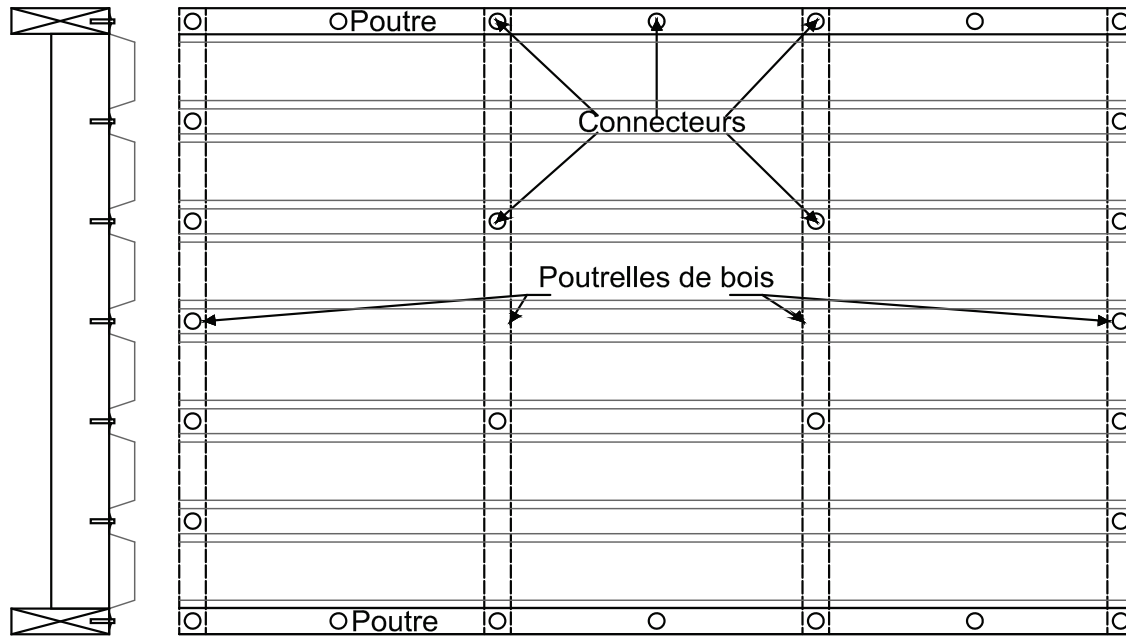


Figure 1-1 : Schéma générique d'un diaphragme acier-bois

Pour atteindre les objectifs principaux susmentionnés, le projet de recherche est divisé en quatre parties. La première partie correspond à une revue de la littérature. La seconde partie correspond à l'étude expérimentale des connexions acier-bois. Dans cette partie, les méthodes de calcul de la résistance élastique des assemblages proposées par le norme CSA O86-14 : Règles de calcul des charpentes en bois sont comparées aux résultats expérimentaux et certaines recommandations sont émises quant à leur utilisation. La troisième partie s'intéresse à l'établissement d'une méthodologie de conception d'un diaphragme acier-bois. Finalement, la quatrième partie consiste en une analyse économique basée sur l'étude d'un bâtiment type comparant différentes configurations et solutions de conception.

2. REVUE DE LITTÉRATURE

2.1. Méthode de conception d'un assemblage acier-bois

Certaines bases théoriques reliées à ce projet de recherche sont relativement bien établies. Aguilera [1] constitue la principale référence permettant de définir et de cerner le cadre dans lequel cette recherche s'établit. Les principes de base de connexion d'un pontage métallique à une charpente de bois sont documentés dans Aguilera [1]. Ces principes découlent d'un manuel produit par la *Metal Construction Association* (MCA) [2] basé en grande partie sur les recherches du *Steel Deck Institute* (SDI) [3]. Le manuel du MCA [2] permet la conception de connexions pour lier un pontage métallique à une charpente d'acier. La méthode de conception Aguilera [1] est essentiellement une adaptation de la méthode proposée par le MCA. Cette méthode de conception permettant l'utilisation d'un pontage métallique sur une charpente en bois se nomme méthode MCA modifiée [1].

Un grand nombre de recherches sur le comportement mécanique des connecteurs dans les charpentes en bois et entre une plaque d'acier et une pièce de bois ont été publiées lors des soixante dernières années. La base théorique utilisée dans la norme canadienne de bois CSA O86-14 [4] pour le design des connexions vissées et boulonnées est le *European Yield Model* développé par Johansen [5]. Ce modèle contient les équations servant à calculer les résistances anticipées correspondant à différents modes de rupture. Ces équations s'appliquent pour les connecteurs de type goujon, soient les boulons, les vis et les clous.

Dans la norme CSA O86-14 [4], la détermination des valeurs de résistance élastique est basée principalement sur la recherche de Whale et al. [6] du fait qu'il n'y a pas de méthode générale actuellement disponible pour déterminer les propriétés mécaniques d'assemblages du type testé dans la cadre de ce projet de maîtrise.

2.1.1. Résistance élastique du connecteur selon la norme CSA O86-14

Dans la norme CSA O86-14 [4], deux cas de conception doivent être évalués, 1) la résistance en cisaillement, et 2) la résistance à l'arrachement et au poinçonnement. Le calcul de la résistance latérale considère sept modes de rupture possibles. Le mode de rupture ayant la plus faible résistance contrôle lors de la conception d'un assemblage en cisaillement. Les équations

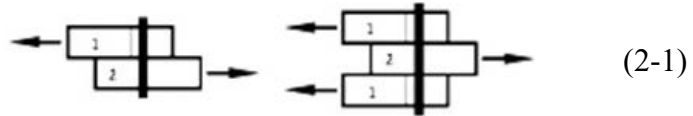
associées à chaque mode de rupture font partie des articles 12.9.4 pour les clous et 12.11.4 pour les vis. La résistance à l'arrachement et au poinçonnement est présentée aux articles 12.9.5 pour les clous et 12.11.5 pour les vis. La procédure pour calculer la résistance d'une connexion en cisaillement est la suivante :

Connexion de type vis Art.12.11.4

- 1) Calculer la résistance latérale unitaire n_u pour tous les modes de rupture en fonction du nombre de plan de cisaillement (une image tirée de la norme est présentée à chaque équation [4]).

A) Écrasement de la ou des pièces latérales.

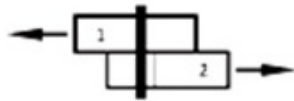
$$n_u = f_1 d_f t_1 \text{ (N)}$$



(2-1)

B) Écrasement de la pièce principale pour un seul plan de cisaillement.

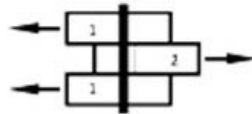
$$n_u = f_2 d_f t_2 \text{ (N)}$$



(2-2)

C) Écrasement de la pièce principale dans le cas de deux plans de cisaillement.

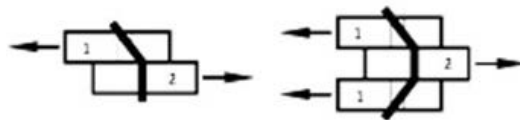
$$n_u = \frac{1}{2} f_2 d_f t_2 \text{ (N)}$$



(2-3)

D) Développement de rotule plastique dans le connecteur avec rotation dans la pièce latérale.

$$n_u = f_1 d_f^2 \left(\sqrt{\frac{1}{6} \frac{f_3}{(f_1 + f_3)} \frac{f_y}{f_1}} + \frac{1}{5} \frac{t_1}{d_f} \right) \text{ (N)}$$



(2-4)

E) Développement de rotule plastique dans le connecteur avec rotation dans la pièce principale.

$$n_u = f_1 d_f^2 \left(\sqrt{\frac{1}{6} \frac{f_3}{(f_1+f_3)} \frac{f_y}{f_1}} + \frac{1}{5} \frac{t_2}{d_f} \right) (N) \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (2-5)$$



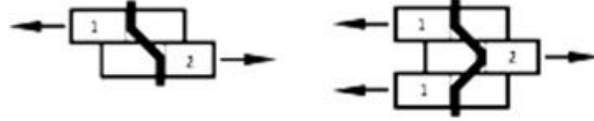
F) Rotation du connecteur par l'écrasement partiel des pièces principale et latérales.

$$n_u = f_1 d_f^2 \left(\frac{t_1}{d_f} + \frac{f_2 t_2}{f_1 d_f} \right) (N) \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (2-6)$$



G) Développement de deux rotules plastiques dans le connecteur aux deux interfaces entre les pièces.

$$n_u = f_1 d_f^2 \sqrt{\frac{2}{3} \frac{f_3}{(f_1+f_3)} \frac{f_y}{f_1}} (N) \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (2-7)$$



où :

d_f est le diamètre du connecteur (mm)

t_1 est l'épaisseur de la ou des pièces extérieures (mm)

t_2 est l'épaisseur de la pièce intérieure ou la longueur de pénétration (mm)

f_1 est la résistance à l'enfoncement de la ou des pièces latérales (MPa)

$$f_1 = K_{sp} (\varphi_{steel} / \varphi_{wood}) f_u$$

où :

K_{sp} est le coefficient de condition de service

φ_{steel} est le coefficient de tenue pour l'acier

φ_{wood} est le coefficient de tenue pour le bois

f_u est la résistance ultime en tension de l'acier

Pour le pontage métallique léger, les variables ont les valeurs suivantes :

$$K_{sp} = 2.7$$

$$\varphi_{steel} = 0.4$$

$$\varphi_{wood} = 0.8$$

$f_u = 310$ MPa pour le pontage métallique léger

f_2 est la résistance à l'enfoncement de la pièce principale si le bois est écrasé (MPa)

$$f_2 = 50 G (1 - 0.01 d_f) \quad (2-8)$$

où :

G est la densité relative du bois

$G = 0.42$ pour du bois classé visuellement d'Épinette-Pin-Sapin

f_3 est la résistance à l'enfoncement de la pièce principale si le connecteur est plastifié (MPa)

$$f_3 = 110 G^{1.8} (1 - 0.01 d_f)$$

f_y est la limite élastique du connecteur (MPa), selon d_f

2) Sélectionner la résistance minimale correspondant au mode de rupture le plus critique.

3) Calculer la résistance latérale unitaire P_u incluant les coefficients d'ajustement

$$P_u = n_u (K_D K_{SF} K_T) \text{ (N)} \quad (2-9)$$

où :

K_D est le coefficient de durée d'application de la charge

K_{SF} est le coefficient de condition d'utilisation

K_T est le coefficient de traitement

4) Calculer la résistance latérale pondérée N_r

$$N_r = \varphi P_u n_f n_s J_A J_E \text{ (N)} \quad (2-10)$$

où :

φ est le coefficient de tenue (0.8)

n_f est le nombre de connecteurs dans l'assemblage

n_s est le nombre de plans de cisaillement

J_A est le coefficient relatif à l'installation en biais

J_E est le coefficient relatif à l'installation dans le grain de bout

Connexion de type clou Art.12.9.4

Les étapes 1, 2 et 3 sont identiques à la méthode présentée pour la vis.

où :

$$f_y = 50 (16 - d_f)$$

4) Calculer la résistance latérale pondérée N_r

$$N_r = \varphi P_u n_f n_s J_A J_E J_B J_D \text{ (N)} \quad (2-11)$$

où :

φ est le coefficient de tenue (0.8)

n_f est le nombre de connecteurs dans l'assemblage

n_s est le nombre de plans de cisaillement

J_A est le coefficient relatif à l'installation en biais (1.0)

J_E est le coefficient relatif à l'installation dans le grain de bout (1.0)

J_B est le coefficient relatif au rivetage des clous (1.0)

J_D est le coefficient relatif à la construction de diaphragme (1.3)

Connexion de type vis Art.12.11.5

- 1) Calculer la résistance à l'arrachement dans la membrure principale P_{rw} Art.12.11.5.2

$$P_{rw} = \varphi Y_w L_{pt} n_f \text{ (N)} \quad (2-12)$$

où :

φ est le coefficient de tenue (0.6)

Y_w est la résistance de base à l'arrachement de la pièce principale (N/mm)

$$Y_w = y_w (K_D K_{SF} K_T) \quad (2-13)$$

où :

$$y_w = 59 d_f^{0.82} G^{1.77} \quad (2-14)$$

L_{pt} est la longueur de pénétration des filets de la pièce principale (mm)

- 2) Calculer la résistance à l'arrachement dans la membrure latérale P_{pt} Art.12.11.5.3

$$P_{pt} = 1.5 \varphi t_1 d_w f_u n_f \text{ (N)} \quad (2-15)$$

où :

φ est le coefficient de tenue (0.4)

d_w est le diamètre de la tête (mm)

- 3) Sélectionner la résistance minimale entre les deux

Connexion de type vis Art.12.11.5

- 1) Calculer la résistance à l'arrachement dans la membrure principale P_{rw} Art.12.9.5.2

$$P_{rw} = \varphi Y_w L_p n_f J_A J_B \text{ (N)} \quad (2-16)$$

où :

φ est le coefficient de tenue (0.6)

Y_w est la résistance de base à l'arrachement de la pièce principale (N/mm)

$$Y_w = y_w (K_{SF} K_T) \quad (2-17)$$

où :

$$y_w = 16.4 d_f^{0.82} G^{2.2} \quad (2-18)$$

Comparaison entre les types de connecteurs

La principale différence entre la méthode de calcul de la résistance latérale pour une vis et celle pour un clou est l'ajout pour le clou des facteurs J_S et J_D . L'existence du facteur J_S est justifié considérant la différence d'utilisation des deux connecteurs. Par contre le facteur J_D devrait aussi être présent pour le calcul des vis en diaphragme. Le commentaire de la norme CSA O86-14 [7] indique que l'origine de ce facteur provient de la réduction de la variabilité des résistances en raison du grand nombre de connecteur. Ceci s'applique aussi dans le cas d'un diaphragme utilisant des vis. La suite de ce mémoire applique le facteur J_D aux clous et aux vis lorsque requis et recommande de la recherche pour confirmer ce facteur.

2.1.2. Résistance élastique du connecteur selon la méthode MCA modifiée

La résistance d'un connecteur de type pointe (clou et vis) est documentée dans Aguilera [1], où la procédure suivante est utilisée pour le calcul de la résistance en cisaillement d'un connecteur :

1. Résistance élastique du connecteur si la rupture se produit dans la pièce de bois:

$$Q_{fw} = 32 G d^2 R \text{ (kips)} \quad (2-19)$$

où :

$$R = \frac{n_{dia}}{6.4} \text{ et } R \leq 1.0 \quad (2-20)$$

$$n_{dia} = L_f / d \text{ et } n_{dia} \geq 4 \quad (2-21)$$

G est la densité relative

d est le diamètre extérieur du connecteur (po)

L_f est la longueur du connecteur (po)

2. Résistance élastique du connecteur si la rupture se produit dans la tôle d'acier :

$$Q_{fs} = \begin{cases} 2.22dF_u t \text{ pour vis No 8, 9 et 10} \\ 1.25F_y t(1.0 - 0.005F_y)\sqrt{t/0.028} \text{ pour vis No 12 et 14 si } t < 0.028 \\ 1.25F_y t(1.0 - 0.005F_y) \text{ pour vis No 12 et 14 si } t \geq 0.028 \\ 1.5dF_u t \text{ pour clou} \end{cases} \quad (2-22)$$

où :

F_u est la résistance ultime de l'acier du pontage (kips)

t est l'épaisseur du pontage (po)

F_y est la résistance élastique de l'acier du pontage (kips)

3. Prendre comme résistance la valeur minimale entre Q_{fw} et Q_{fs}

Il est à noter que cette procédure est basée sur la méthode aux contraintes admissibles utilisée dans la norme NDS 1995 [8].

2.1.3. Comparaison des deux méthodes de calcul de la résistance

En comparant les deux méthodes, il appert que le calcul du Q_{fw} et du Q_{fs} dans la méthode MCA modifiée sont équivalents au mode de rupture a) et b) de la méthode de la norme CSA. La méthode du MCA modifiée considère donc le connecteur comme étant assez rigide pour ne jamais être critique. Ceci démontre la différence entre la méthode MCA modifiée, basée sur la méthode aux contraintes admissibles, et la méthode du CSA, basée sur la conception aux états limites et sur le *European Yield Model*. De plus, la NDS 2015 [9] utilise maintenant le *European Yield Model*. La méthode présentée dans la MCA pour déterminer la résistance des connecteurs est mal adaptée à la conception aux états limites et devrait être mise à jour avec la méthode du *European Yield Model* présentée dans la NDS 2015 et dans la CSA O86-14.

2.1.4. Rigidité théorique des assemblages

La valeur théorique de rigidité élastique d'un assemblage a été calculée selon trois approches : selon la méthode MCA modifiée [1], selon l'Eurocode 5 [10], ou selon la norme la norme CSA O86-14 [7].

Méthode MCA modifiée

La valeur théorique de la rigidité d'un assemblage (K_f dans la méthode MCA modifiée [1]) est considérée comme étant une valeur unique ayant pour valeur 876 N/mm (5 Kips/in).

Méthode Eurocode 5

La valeur théorique de la rigidité d'un assemblage (K_{ser} dans l'Eurocode 5 [10]) est basée sur le type de connecteur, la densité du bois ainsi que le diamètre du connecteur. Les équations sont :

$$\text{Vis} \quad K_{ser} = 2 \rho_m^{1.5} \frac{d}{23} \text{ (N/mm)} \quad (2-23)$$

$$\text{Clou non pré-percé} \quad K_{ser} = 2 \rho_m^{1.5} \frac{d^{0.8}}{30} \text{ (N/mm)} \quad (2-24)$$

où :

ρ_m est la densité de l'élément de bois (kg/m³)

d est le diamètre extérieur du connecteur (mm)

La valeur est multipliée par 2 puisqu'il y a une composante en acier dans l'assemblage. (Eurocode 5 art. 7.1.3 [10])

Méthode CSA O86-14

Il n'y a pas de méthode directe pour obtenir la rigidité élastique d'un connecteur dans la norme CSA O86-14 [7]. Par contre, celle-ci est calculée indirectement lors du calcul de la déformation d'un diaphragme. L'équation utilisée pour ce calcul est à l'article 11.7.2 de la norme et est comme suit :

$$\Delta_d = \frac{5vL^3}{96EAL_D} + \frac{vL}{4B_v} + 0.00061Le_n + \frac{\sum(\Delta_c x)}{2L_D} \text{ (mm)} \quad (2-25)$$

Où la première partie représente la déformation en flexion du panneau, la deuxième partie est la déformation en cisaillement du panneau, la troisième partie est le mouvement du panneau relatif dû à la déformation des clous au pourtour du panneau, la quatrième partie est la contribution de l'effet de corde. Le troisième terme est celui qui doit être analysé.

$$\Delta_c = 0.00061Le_n \text{ (mm)} \quad (2-26)$$

où :

L est la dimension perpendiculaire à la direction de l'effort (mm)

e_n est la déformation du clou (mm)

$$e_n = \left(\frac{0.013vs}{d_f^2} \right)^2$$

où :

v est l'effort de cisaillement appliqué (N/mm)

s est l'espacement entre les connecteurs (N/mm)

d_f est le diamètre du connecteur (mm)

En séparant les termes entre la charge, en N, qui est le produit de v et s , la rigidité est $K = d_f^2/0.013$ qui peut être remaniée en

$$K = 76.92d_f^2 \text{ (N/mm)} \quad (2-27)$$

Cette équation est valide pour le clou, mais sera aussi utilisée pour la vis dans cette recherche.

2.2. Comportement mécanique expérimental des assemblages

2.2.1. Résistance élastique expérimentale d'un assemblage

La valeur expérimentale de la résistance élastique des assemblages a été déterminée par plusieurs méthodes. Le but étant de permettre de comparer les résultats des diverses méthodes entre elles.

Méthode du 5% du diamètre

La méthode du 5% du diamètre est utilisée par le code américain ANSI/AWC NDS-2015 [9], présenté dans la norme ASTM D5652 [11] ainsi que dans la norme ASTM D5764 [12]. La résistance élastique est définie comme étant l'intersection entre une droite parallèle à la rigidité initiale et la courbe force-déplacement expérimentale. La droite en question est alors déplacée horizontalement d'une valeur correspondant à 5% du diamètre du connecteur étudié tel que présenté à la Figure 2.2-1. La méthode pour déterminer la rigidité initiale n'étant pas spécifiée

dans la norme D5652 [11], la pente sécante est évaluée individuellement pour chaque assemblage pour obtenir la valeur probable.

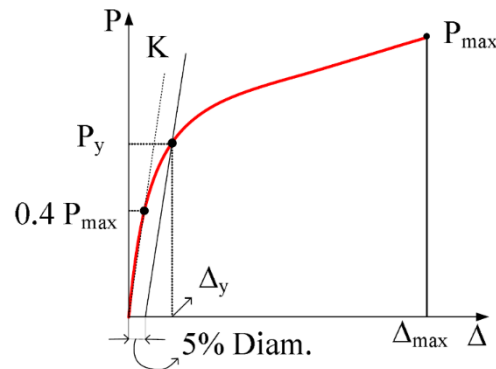


Figure 2.2-1 : Méthode du 5% du diamètre, image de Muñoz et al. [13]

Méthode du Comité européen de normalisation (CEN)

La méthode du CEN est utilisée en Europe. La résistance élastique est définie comme étant l'intersection entre la pente de rigidité initiale et une tangente à la courbe force-déplacement expérimentale. La pente de rigidité initiale est définie comme la pente entre la valeur de 10% et 40% de la charge ultime. Cette pente forme un angle α par rapport à l'horizontale. Le point tangent est défini comme étant le point sur la courbe de données expérimentales où l'angle β de la pente tangente K_β correspond à un sixième de l'angle α , tel que présenté à la Figure 2.2-2. La résistance élastique est le point correspondant à d'intersection entre les deux pentes.

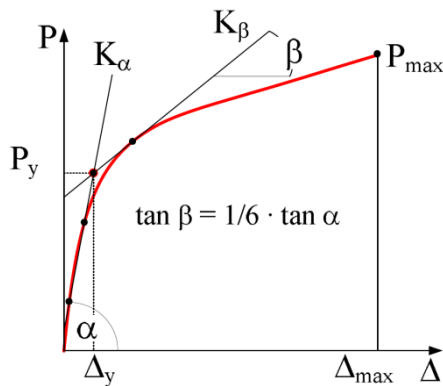


Figure 2.2-2 : Méthode du CEN, image de Muñoz et al. [13]

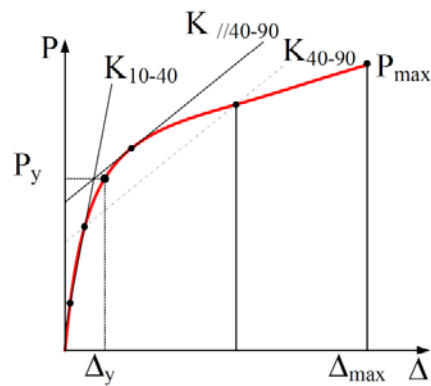


Figure 2.2-3 : Méthode de Y&K, image de Muñoz et al. [13]

Méthode de Yasamura et Kawai (Y&K)

La méthode d'Y&K est utilisée au Japon. La résistance élastique est définie comme suit : 1) la pente de rigidité initiale est définie comme la pente sécante entre les valeurs de 10% et 40% de la charge ultime; 2) une seconde pente est définie comme la pente sécante entre les valeurs de 40% et 90% de la charge ultime. Cette pente se nomme : « rigidité post-élastique »; 3) le point sur la courbe de données expérimentales tangent à la pente de rigidité post-élastique est alors identifié, tel que présenté à la Figure 2.2-3; 4) le point d'intersection entre la pente rigidité initiale et la pente tangente est alors identifié 5) la résistance élastique correspond au point sur la courbe de données expérimentales où le point d'intersection entre la pente rigidité initiale et la pente tangente est projeté horizontalement.

2.2.2. Rigidité expérimentale des assemblages

La valeur expérimentale mesurée à partir des essais est déterminée en utilisant deux méthodes différentes afin de permettre de comparer les résultats des diverses méthodes entre elles. Ces méthodes sont : la méthode de la droite sécante entre 10% et 40% de la charge ultime [13] et la méthode proposée par la norme EN 26891 [14].

Méthode de la droite sécante entre 10% et 40% de la charge ultime

Cette méthode demande de déterminer les valeurs de résistance et de déplacement correspondant à 10% et à 40% de la charge ultime sur la courbe force-déplacement expérimentale. Ensuite, il faut calculer l'équation de la pente qui rejoint ces deux points. Cette pente donne une estimation de la rigidité élastique initiale k_{10-40} .

Norme EN 26891

Cette méthode demande de déterminer les valeurs de résistance et de déplacement correspondant à 10% et à 40% de la charge ultime sur la courbe force-déplacement expérimentale. Ensuite, l'équation suivante est proposée :

$$k_{EN\ 26891} = \frac{3}{4} \frac{0.4F_{est}}{(v_{40} - v_{10})} \quad (\text{kN/mm}) \quad (2-28)$$

où :

$k_{EN\ 26891}$ est la rigidité élastique (kN/mm)

F_{est} est la résistance maximum estimée (kN)

v_{40} est le déplacement à 40% de la résistance maximum estimée (mm)

v_{10} est le déplacement à 10% de la résistance maximum estimée (mm)

2.2.3. Résistance ultime des assemblages

La résistance ultime des assemblages est déterminée à partir de la force maximale atteinte sur la courbe force-déplacement lors d'un essai.

2.3. Méthode de conception d'un diaphragme en acier

2.3.1. Résistance élastique d'un diaphragme en acier

Dans le manuel SDI-DDM04 [3], le calcul de la résistance élastique considère quatre modes de rupture possibles. Lors de la conception d'un diaphragme, c'est le mode de rupture ayant la résistance la plus faible qui contrôle. Les équations correspondant à chaque mode de rupture font partie du Chapitre 2 du manuel SDI-DDM04 [3]. La procédure pour calculer la résistance d'un assemblage en cisaillement est la suivante :

- 1) Calculer la résistance linéaire au cisaillement non-pondérée S_u de chaque mode de rupture.
 - A) Connecteurs au périmètre, illustrés à la Figure 2.3-1 [3].

$$S_{up} = (2\alpha_1 Q_{fe} + n_p \alpha_2 Q_{fp} + n_{sp} Q_{sp}) / l \quad (\text{kN/m}) \quad (2-29)$$

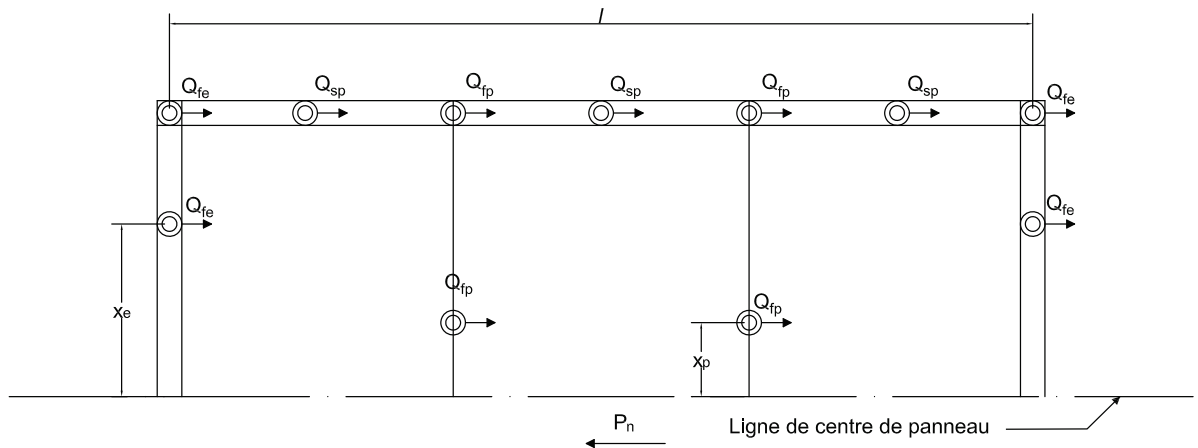


Figure 2.3-1 : Distribution des efforts aux connecteurs au périmètre

B) Connecteurs intérieurs, illustrés à la Figure 2.3-2 [3].

$$S_{uf} = [2A(\lambda - 1)\alpha_{fe} + B] \frac{Q_{fp}}{l} \text{ (kN/m)} \quad (2-30)$$

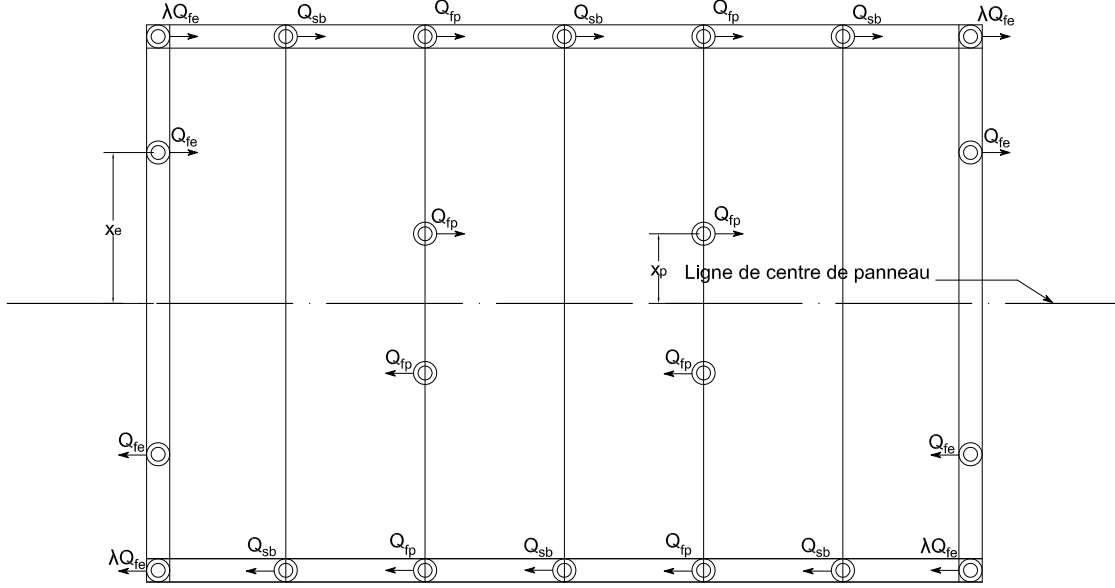


Figure 2.3-2 : Distribution des efforts aux connecteurs intérieurs

C) Connecteurs aux coins, illustrés à la Figure 2.3-3 [3].

$$S_{uc} = Q_{fp} \sqrt{\frac{N^2 B^2}{l^2 N^2 + B^2}} \text{ (kN/m)} \quad (2-31)$$

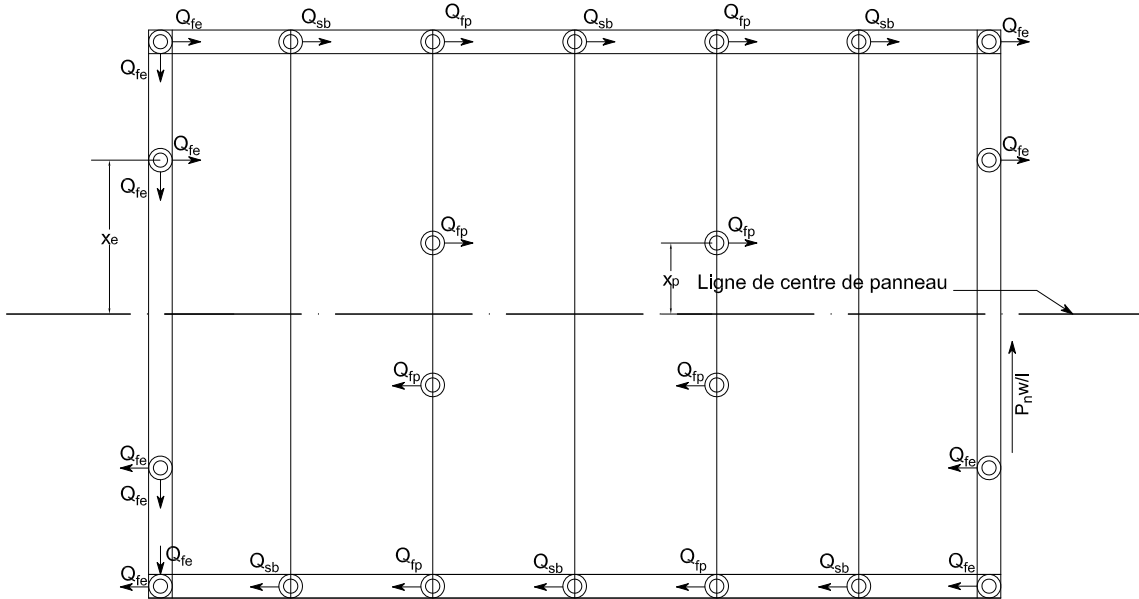


Figure 2.3-3 : Distribution des efforts aux connecteurs aux coins

D) Flambement hors plan du pontage.

$$S_{ub} = \frac{4.2}{l_v^2} \sqrt{I^3 t^3 \left(\frac{d}{s}\right)} \text{ (kN/m)} \quad (2-32)$$

où :

α_1 est le facteur de distribution des connecteurs en bout de panneau sur une pleine largeur

$$\alpha_1 = \frac{\sum x_e}{w}$$

où :

x_e est la distance entre la ligne centrale du panneau et tout connecteur en bout de panneau, basée sur le patron d'assemblage (m)

w est la largeur du panneau (m)

Q_{fe} est la résistance au cisaillement unitaire d'un connecteur en bout de panneau (kN)

n_p est le nombre de poutrelle excluant celles de bout

α_2 est le facteur de distribution des connecteurs sur les poutrelles

$$\alpha_2 = \frac{\sum x_p}{w}$$

où :

x_p est la distance entre la ligne centrale du panneau et tout connecteur sur poutrelle, basée sur le patron d'assemblage (m)

Q_{fp} est la résistance au cisaillement unitaire d'un connecteur sur poutrelle (kN)

n_{sp} est le nombre de connecteurs au périmètre entre les poutrelles

Q_{sp} est la résistance au cisaillement unitaire d'un connecteur au périmètre entre les poutrelles (kN)

l est la longueur du panneau (m)

A est le nombre de connecteurs dans la première et dernière vallée d'un patron d'assemblage

λ est le facteur de réduction de résistance des coins

$$\lambda = 1 - \frac{hl_v}{369\sqrt{t}} \geq 0.7$$

où :

h est la profondeur du panneau (mm)

l_v est la distance entre les poutrelles (m)

t est l'épaisseur du panneau (mm)

α_{fe} est le facteur de conversion de la résistance des connecteurs en bout de panneau

$$\alpha_{fe} = \frac{Q_{fe}}{Q_{fp}}$$

B est le facteur de distribution des connecteurs

$$B = n_s \alpha_s + 2n_p \alpha_p^2 + 2n_e \alpha_e^2 \alpha_{fe}$$

où :

n_s est le nombre de connecteurs aux joints latéraux

α_s est le facteur de conversion de la résistance des connecteurs aux joints latéraux

$$\alpha_s = \frac{Q_{sb}}{Q_{fp}}$$

où :

Q_{sb} est la résistance au cisaillement unitaire d'un connecteur aux joints latéraux
(kN)

α_p^2 est le facteur de distribution des connecteurs sur poutrelle

$$\alpha_p^2 = \sum \left(\frac{x_p}{w} \right)^2$$

n_e est le nombre de connecteurs en bout de panneau

α_e^2 est le facteur de distribution des connecteurs en bout de panneau

$$\alpha_e^2 = \sum \left(\frac{x_e}{w} \right)^2$$

N est le nombre de connecteurs au bout du patron d'assemblage par unité de longueur (un/m)

I est le moment d'inertie du panneau (mm^4/m)

d est la longueur d'une ondulation voir Figure 2.3-4 (mm)

s est la longueur linéaire de l'ondulation développée (mm)

$$s = 2(e + w) + f$$

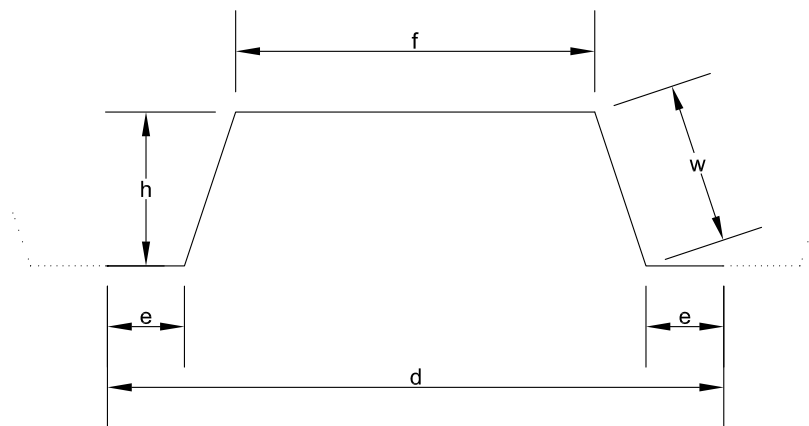


Figure 2.3-4 : Dimensions d'une ondulation de pontage

2) Appliquer le coefficient de tenue approprié à chaque mode de rupture :

= 0.55 pour les modes A, B et C

= 0.75 pour le mode D

3) Choisir la valeur pondérée minimale parmi les 4 modes

Il est à noter que l'effet de diaphragme sur la distribution des efforts en cisaillement est que le cisaillement moyen parallèle à l'application de la force produit un cisaillement égal perpendiculairement à l'effort. Cet effet est présenté dans le Chapitre 2 du manuel SDI-DDM04 [3]

2.3.2. Rigidité d'un diaphragme en acier

Dans le manuel SDI-DDM04 [3], le calcul de la rigidité des diaphragmes est nécessaire pour calculer les déformations dans le plan dans un diaphragme soumis à des charges horizontales. Deux modes de déformation dans le plan possibles sont considérés : le mode de déformation en

flexion et le mode de déformation en cisaillement. Ces déformations sont additionnées ensemble pour déterminer la déformation totale d'un diaphragme. Cette déformation totale est ensuite comparée aux limites de déformations en service dues aux charges de vent, telles que présentées dans le Code national du bâtiment du Canada [15] qui renvoie au Tableau D-1 du Commentaire du Code national du bâtiment du Canada [15], et aux déformations dues aux séismes sous charges pondérées, telles que présentées dans le Code National du Bâtiment du Canada [15]. Les équations correspondant à chaque mode de déformation sont présentées dans le Chapitre 3 du manuel SDI-DDM04 [3]. La procédure pour calculer le déplacement d'un diaphragme est la suivante :

1) Déformation due au cisaillement

A) Calcul de la rigidité du diaphragme.

$$G' = \frac{Et}{2.6\frac{s}{d} + \rho D_n + c} \text{ (N/mm)} \quad (2-33)$$

où :

E est le module d'élasticité du pontage (MPa)

t est l'épaisseur du panneau (mm)

d est la longueur d'une ondulation (voir Figure 2.3-4) (mm)

s est la longueur linéaire de l'ondulation développée (mm)

$$s = 2(e + w) + f$$

ρ est un facteur de correction en fonction du nombre de portées évaluées (voir le Tableau 2.3-1).

Tableau 2.3-1 : Valeurs de ρ en fonction de la portée

NOMBRE DE PORTÉES	1	2	3	4	5	6	7
ρ	1.00	1.00	0.90	0.80	0.71	0.64	0.58

D_n est le coefficient de gauchissement du panneau

$$D_n = \frac{D}{l}$$

où :

D est la constante de gauchissement en fonction du patron d'assemblage en bout de panneau

l est la longueur du diaphragme (m)

C est le coefficient de glissement du panneau

$$C = E \frac{t}{w} S_f \left(\frac{2}{2\alpha_1 + n_p \alpha_2 + 2n_s \frac{S_f}{S_s}} \right) l \quad (2-34)$$

où :

w est la largeur d'un panneau (mm)

S_f est la flexibilité du connecteur structural intérieur (mm/N)

$$S_f = \frac{1}{k_f}$$

où :

k_f est la rigidité du connecteur structural intérieur (N/mm)

S_s est la flexibilité du connecteur aux joints latéraux (mm/N)

$$S_s = \frac{1}{k_s}$$

où :

k_s est la rigidité du connecteur aux joints latéraux (N/mm)

$$k_s = \frac{1000\sqrt{t}}{86.3}$$

Voir la Section 2.3.1 pour les autres variables.

B) Calcul de la déformation due au cisaillement

$$\Delta_S = \frac{ql^2}{8BG'} \text{ (m)} \quad (2-35)$$

où :

q est l'effort pondéré de cisaillement linéaire évalué (kN/m)

l est la longueur du diaphragme (m)

B est la largeur totale du bâtiment (dimension parallèle aux efforts) (m)

2) Déformation due à la flexion

A) Calcul de la déformation due à la flexion

$$\Delta_B = \frac{5ql^4}{384EI} \text{ (m)} \quad (2-36)$$

où :

q est l'effort pondéré de cisaillement linéaire évalué (kN/m)

l est la longueur du diaphragme (m)

E est le module d'élasticité des poutres en flexion (kN/m²)

I est le second moment d'inertie équivalent du diaphragme en ignorant la contribution du plâtrage d'acier (m⁴)

$$I = 2A \left(\frac{B}{2} \right)^2$$

où :

A est l'aire des poutres de rives selon l'axe de flexion considéré (m²)

B est la largeur totale du bâtiment (dimension parallèle aux efforts) (m)

3) Vérification de la déformation

A) Déformation totale du bâtiment

$$\Delta_{permise} \geq \Delta_B + \Delta_S + \Delta_f \text{ (m)} \quad (2-37)$$

où :

$\Delta_{permise}$ est la déformation maximum permise (m)

$$\Delta_{permise} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{180} \text{ pour le vent} \\ 0.025h \text{ pour le séisme} \end{array} \right\}$$

où :

h est la hauteur du bâtiment (m)

Δ_f est la déformation du bâtiment due à la déformation du système vertical de reprise des forces sismiques (SRFS) sous les charges appliquées (m)

La déflexion du bâtiment doit être évaluée séparément dans les deux directions, pour les deux types de charges.

2.4. Synthèse de la littérature et apport du projet de recherche

La revue de littérature démontre que les connaissances théoriques sur le comportement d'un assemblage acier-bois sont assez bien définies dans les normes et que, séparément, la méthode de conception d'un diaphragme est bien documentée. Par contre, la combinaison de ces deux aspects menant à la conception d'un diaphragme acier-bois a très peu été étudiée dans la littérature et plus précisément, il n'existe pas de connecteur spécifiquement conçu pour cette application. De plus, la seule référence qui définit clairement une procédure de conception pour un diaphragme acier-bois, la méthode MCA modifiée décrite dans Aguilera [1], utilise une méthode de conception des assemblages mal adaptée à la conception aux états limites. Un des objectifs importants de ce projet de recherche consiste à proposer un connecteur optimal pour joindre un pontage d'acier à une charpente en bois en tenant compte de plusieurs facteurs tels que : la résistance des assemblages, la rigidité des assemblages, le mode de rupture des assemblages, la facilité et rapidité d'installation des connecteurs, l'effet du comportement des connecteurs sur le comportement global d'un diaphragme de toit, l'effet du choix d'un type de connecteur donné sur le coût global de construction d'un diaphragme. De ce projet de recherche permettra de proposer de nouvelles méthodes de conception qui pourront être incluses dans les normes de conception actuelles.

3. DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET ANALYSE EXPÉRIMENTALE

Ce chapitre a pour objectif de présenter les résultats de la première étape du projet de recherche. Celle-ci consiste à déterminer les performances mécaniques de différents connecteurs pour joindre un pontage d'acier métallique à une charpente en bois. L'évaluation des performances des connecteurs seront basés sur : la résistance élastique en cisaillement, la rigidité élastique et la résistance ultime des assemblages testés. Différents connecteurs disponibles sur le marché sont évalués afin de faire ressortir celui qui aura le meilleur comportement mécanique. Les résultats expérimentaux des connecteurs sont comparés aux valeurs que l'on peut obtenir dans la littérature (Norme canadienne de bois [4], calcul de diaphragme de pontage d'acier [3]).

Une présentation de la méthodologie expérimentale utilisée lors des essais ainsi que lors du traitement des données expérimentales est faite. De plus, une pré-analyse des méthodes de détermination de la résistance élastique et de la rigidité expérimentale est présentée. Une présentation des résultats détaillés pour chacune des séries d'essais est effectuée. Une analyse des résultats conduisant à la sélection de connecteurs optimaux est ensuite présentée.

3.1. Méthodologie

La première partie du projet de recherche consiste en une campagne d'essais sur petits échantillons.

- Sélectionner des connecteurs de type *pointe* ayant des caractéristiques différentes afin d'examiner les propriétés de ceux-ci;
- Calculer les résistances d'assemblages à partir de la norme CSA O86-14 [4] et la rigidité à partir de la méthode MCA modifiée [1], de l'Eurocode 5 [10] et de la méthode dérivée de la norme CSA O86-14 [4];
- Mesurer expérimentalement la résistance en cisaillement et la rigidité d'assemblages construits avec différents types de connecteurs et épaisseurs de tôle en acier ;
- Analyser les résultats afin de déterminer les connecteurs optimaux.

Lors de cette campagne, la résistance et la rigidité théorique des divers assemblages sont calculées selon les diverses méthodes présentées. Ensuite, selon les résultats obtenus, plusieurs séries d'essais expérimentaux en cisaillement selon la norme ASTM D1761-12 [16] sont effectués afin de comparer les performances mécaniques entre les divers connecteurs. Les propriétés théoriques sont comparées à celles mesurées expérimentalement afin de proposer un connecteur optimal. La résistance élastique expérimentale est calculée avec les méthodes suivantes : 5% du diamètre, Commission européenne de normalisation et Yasamura et Kawai, toutes présentées à la Section 2.2.1. La rigidité expérimentale est évaluée selon les méthodes suivantes : linéaire entre 10% et 40% de la charge ultime et la norme EN 26891, toutes présentées à la Section 2.1.4.

3.1.1. Informations sur les composantes structurales

Dans le cadre de cette recherche il est d'abord nécessaire de présenter et caractériser les différentes composantes structurales qui composent les diaphragmes de toit de type acier-bois. Ces trois catégories de composantes sont : 1) les connecteurs, 2) les pontages d'acier métallique, et 3) les poutres en bois. Dans le cadre de cette recherche, des essais de caractérisation sont effectués sur chacune de ces composantes pour bien définir leurs propriétés mécaniques.

Informations sur les connecteurs

Pour la sélection des connecteurs, les catalogues des fabricants Simpson Strong-Tie [17], ITW [18], Hilti [19] et SFS-Intec [20] ont été consultés. Une sélection de connecteurs a été retenue en fonction des caractéristiques recherchées et une demande a été faite aux fabricants pour fournir des spécimens. Les spécimens fournis sont ceux qui ont été analysés. Le connecteur Rothoblaas [21] a été ajouté à la demande du partenaire Structure Fusion considérant que Rothoblaas est un de leurs fournisseurs réguliers. Les informations obtenues à propos des connecteurs viennent des catalogues et fiches techniques des différents fabricants : Simpson Strong-Tie [17], [22], [23], ITW [18], [24], [25] et Rothoblaas [21]. L'information qui n'était pas fournie dans les catalogues des fabricants a été déterminée à partir des normes CSA O86-14 [4] et CSA S16-09 [26]. Les propriétés physiques des connecteurs sont présentées aux Tableau 3.1-1 et Tableau 3.1-2. La Figure 3.1-1 montre les connecteurs sélectionnés. La valeur de résistance élastique f_y du connecteur pourrait être différente pour chacune des vis,

mais les références des fabricants ne fournissaient pas cette valeur. La valeur de la norme a donc été retenue pour cette recherche.

Tableau 3.1-1 : Caractéristiques des connecteurs

TYPE DE CONNECTEUR	TYPE DE POINTE	TYPE DE TÊTE	AUTRE
Clou à pontage de toit commun #11 1-1/2 #PRIM305-05	Diamant	Plate	Installé avec fusil pneumatique
Simpson Strong-Tie HJ #HJ112WT10-0105	Fraisée	Hexagonale plate avec joint EPDM	Système <i>Quick-drive</i> *
Simpson Strong-Tie PCULP #PCULP112BS1012	Fraisée	Robertson plate fraisé	Système <i>Quick-drive</i> * Connecteur discontinué
Illinois Tool Works R4 #R4 10x3 1/2"	Fraisée	Étoile plate fraisée	En vrac
Illinois Tool Works RSS #RSS 1/4x3 1/2"	Fraisée	Étoile tête rondelle	En vrac
Rothoblaas TBS 6x80 #TBS680	Pointe	Allen tête rondelle	En vrac

* : Système propriétaire d'installation rapide par bande de connecteurs

Tableau 3.1-2 : Propriétés des connecteurs

TYPE DE CONNECTEUR	L (mm)	L_T (mm)	D_i (mm)	D_e (mm)	D_h (mm)	f_y (MPa)
Clou à pontage de toit commun #11 1-1/2	38.1	-	2.91	2.91	8.66	654.6
Simpson Strong-Tie HJ	38.1	35.6	3.49	4.70	8.79	690
Simpson Strong-Tie PCULP	38.1	34.4	3.21	4.90	10.34	690
Illinois Tool Works R4	76.2	58.5	3.18	4.86	9.37	690
Illinois Tool Works RSS	76.2	51.8	3.15	4.87	11.55	690
Rothoblaas TBS 6x80	78.7	46.5	3.88	6.00	13.70	690

L : Longueur totale du connecteur

L_T : Longueur de filet du connecteur

D_i : Diamètre intérieur du connecteur

D_e : Diamètre extérieur du connecteur

D_h : Diamètre de la tête du connecteur

f_y : Selon valeurs fourni par la norme CSA O86-14 [4]

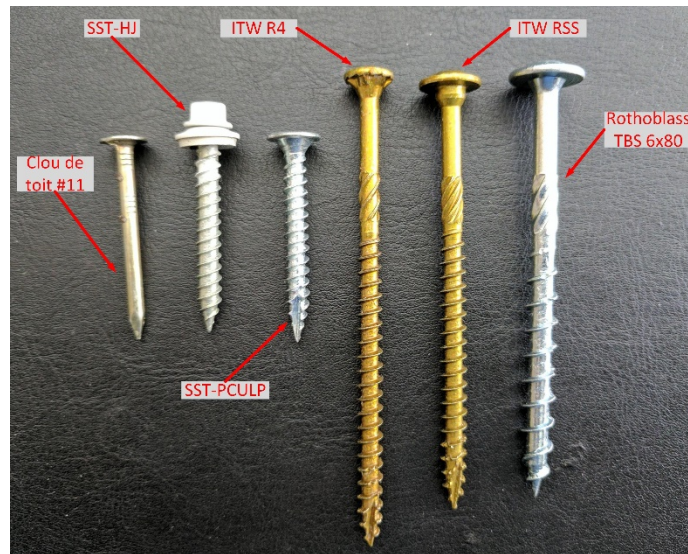


Figure 3.1-1 : Type de connecteur

Informations sur les pontages métalliques légers

Le pontage métallique léger utilisé pour les essais est le modèle P-3606 du Groupe CANAM, présenté dans leurs deux catalogues [27], [28]. Les propriétés des pontages utilisés sont présentées au Tableau 3.1-3. La recherche se limite au pontage P-3606 de types 22 et 20, puis que ceux-ci sont très couramment utilisés comme pontage de toit et les épaisseurs ont été limitées pour diminuer la taille de l'étude.

Tableau 3.1-3 : Caractéristiques des pontages métalliques

TYPE DE PONTAGE	ÉPAISSEUR (mm)	PROFONDEUR (mm)	LARGEUR (mm)
CANAM P-3606-20	0.91	37.5	914
CANAM P-3606-22	0.76	37.4	914

La valeur de la limite élastique et de la contrainte ultime, ainsi que le module élastique des deux types de pontage ont été mesurés expérimentalement. Deux séries d'essais composées de quatre échantillons chacune ont été effectuées. La norme ASTM E8/E8M-09 [29] a été utilisée. La valeur théorique de contrainte ultime spécifiée dans la norme CSA O86-14 [4] pour ce type de pontage est de 310 MPa (45 ksi) selon les articles 12.9.4.2 et 12.11.4.2. Les valeurs théoriques fournies par le fabricant des pontages utilisés, CANAM [28], sont de 230 MPa (33 ksi) pour la contrainte élastique et de 310 MPa pour la contrainte ultime. Les résultats sont présentés au Tableau 3.1-4. La différence entre les valeurs théoriques et expérimentales est expliquée parce

que le fabricant a changé le grade minimum de ses pontages dans sa production au Canada entre le moment de la publication de ses catalogues de référence [27], [28] et l'envoi des pontages utilisés pour les essais. Ils utilisent maintenant, au minimum, du pontage de 275 MPa (40 ksi) de résistance élastique et 345 MPa (50 ksi) de résistance ultime. Pour cette recherche, la nouvelle valeur minimale du fabricant sera utilisée pour les calculs théoriques.

Tableau 3.1-4 : Résultats essais de conformité des types de pontage

PONTAGE	$\sigma_{\text{élas MOY}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{élas écart-type}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{ultime MOY}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{ultime écart-type}}$ (MPa)
20	320	4.30	421	6.82
22	355	7.54	466	2.39

Informations sur le bois

Le bois utilisé dans le cadre de ce projet de recherche a été fourni par le fournisseur Bois Hamel. L'essence de bois spécifique utilisée n'a pas été fournie, mais correspond à la catégorie « Épinette-Pin-Sapin » (ÉPS) de grade numéro 1 de la norme CSA O86-14 [4]. Pour le calcul de la résistance f_2 d'un assemblage acier-bois selon la norme CSA O86-14 [4], présentée à la Section 2.1.1, il est nécessaire de connaître la densité relative du bois. Celle-ci peut être mesurée selon les normes ASTM D2395 [30] et ASTM D4442 [31]. Par contre, considérant que l'équation (2-1) de f_2 selon la norme CSA O86-14 [4] est corrigée pour des durées normales, à un taux d'humidité de 15% et ajusté pour la variabilité de la densité relative, une autre équation sera utilisée pour permettre une comparaison valable. Dans l'article Whale et al. [6], qui est à la base de l'équation du calcul de f_2 , il est recommandé d'utiliser l'équation (3-1) pour déterminer f_{bavg} , la résistance moyenne à l'enfoncement théorique du bois.

$$f_{bavg} = 0.082(1 - 0.01d_f)\Gamma \text{ (kips)} \quad (3-1)$$

où :

d_f est le diamètre du connecteur (mm)

Γ est la densité relative à 12 % de taux d'humidité

La densité relative à 12 % de taux d'humidité est calculée selon l'équation X 1.3 de la norme ASTM D2395 [30], reproduite ci-après.

$$\Gamma = \frac{\rho_0(1 + 0.01M)}{1 + 0.009M \rho_0/\rho_w} \quad (3-2)$$

où :

ρ_0 est la densité à sec du bois (g/cm³)

$\rho_0 = G$, la densité relative

M est le taux d'humidité en % = 12

ρ_w est la densité de l'eau (g/cm³) = 1

En comparaison, dans la norme américaine NDS 2015 [9] à la table 12.3.3, le calcul de la résistance moyenne à l'enfoncement est basé sur l'équation (3-3) pour les connecteur de moins de ¼ po de diamètre. L'équation a été convertie de livre-force par pouce carré (psi) pour être dans les mêmes unités que précédemment, MPa.

$$f_E = 16600G^{1.84} * 0.00689476 \text{ (MPa)} \quad (3-3)$$

où :

G est la densité relative selon la norme ASTM D2395 [30]

La résistance à l'enfoncement peut également être évaluée par un essai d'enfoncement selon la norme ASTM D5764 [12].

Le montage expérimental pour les essais d'enfoncement est une pièce usinée d'acier en « T » ayant un bout arrondi de 4.70 mm de diamètre, similaire au diamètre des connecteurs étudiés. Les échantillons testée sont des blocs d'ÉPS no.1 de 50.8 mm x 50.8 mm x 47.625 mm (2 po x 2 po x 1-7/8 po) avec un demi-trou circulaire de 4.70 mm de diamètre par 47.625 mm de long. L'effort est appliqué parallèlement aux fibres du bois. Le montage est présenté à la Figure 3.1-2.

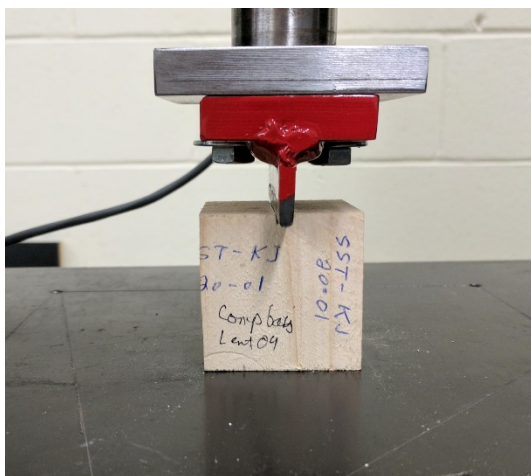


Figure 3.1-2 : Montage essai d'enfoncement



Figure 3.1-3 : Montage mesure masse volumique

Suite aux essais mécaniques, chaque échantillon a été pesé puis son volume mesuré par immersion. Le montage permettant la mesure du volume des échantillons est présenté à la Figure 3.1-3. Suite à cette première mesure des volumes, les échantillons sont mis dans un four séchoir à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ pour une durée de 24 heures. Chaque échantillon a ensuite été pesé et les volumes ont été mesurés à nouveau par immersion. C'est à partir de ces mesures que la densité relative à sec des échantillons a pu être déterminée.

Les résultats expérimentaux basés sur la norme ASTM D5764 [12] présentés au Tableau 3.1-5 ont été obtenus en testant 10 blocs avec une vitesse de chargement de 1 mm/min. Les résultats spécifiques à chaque essai sont présentés à l'Annexe A.

Tableau 3.1-5 : Résistance maximal à l'enfoncement moyen et rigidité

VITESSE (mm/min)	F_{max} (N)	σF_{max} (N)	k (kN/mm)	σk (kN/mm)
1	7572	603	9.61	2.12

La densité relative à sec théorique pour la norme CSA O86-14 [4], la norme NDS 2015 [9] et la densité à sec expérimentale mesurée avec la norme ASTM D2395 [30] sont présentées au Tableau 3.1-6. La densité corrigée à 12% de taux d'humidité pour la norme CSA O86-14 [4] et

la densité à sec expérimentale mesurée avec la norme ASTM D2395 [30] sont présentées au Tableau 3.1-6.

Tableau 3.1-6 : Densité relative à sec et à 12 % de taux d'humidité

ESSENCE ET GRADE	À SEC				12 % DE TAUX D'HUMIDITÉ			
	CSA	NDS	Exp *.	σ Exp. *	CSA	NDS	Exp *.	σ Exp. *
ÉPS No.1	0.42	0.42	0.40	0.03	0.45	-	0.43	0.03

* : Valeur correspondant à une vitesse de chargement de 1 mm/min (norme ASTM D5764 [12])

La résistance moyenne maximale théorique à l'enfoncement pour la norme CSA O86-14 [4], NDS 2015 [9] et celle expérimentale basée sur la norme ASTM D2395 [30] sont calculées à partir des équations (3-4), (3-1) et (3-3). Elles sont présentées au Tableau 3.1-7.

$$F_{max} = f d_f l_f \text{ (N)} \quad (3-4)$$

où :

f est la résistance moyenne à l'enfoncement (MPa), soit f_{bavg} pour CSA et expérimental; f_E pour NDS

d_f est le diamètre du connecteur (mm), soit 4.7 mm

l_f est le longueur du connecteur (mm), soit 47.625 mm

Tableau 3.1-7 : Résistance à l'enfoncement à 12 % de taux d'humidité (N)

VITESSE (mm/min)	CSA	NDS	D2395 *	σ D2395 *	D5764 *	σ D5764 *
1	7871	5192	7465	595	7572	603

* : Valeur correspondant à une vitesse de chargement de 1 mm/min (norme ASTM D5764 [12])

Le Tableau 3.1-7 démontre bien que les deux méthodes expérimentales, soit en mesurant directement la résistance à l'enfoncement soit en mesurant la densité relative et en utilisant la méthode recommandée par l'article Whale et al. [6] corréleront bien, ayant des valeurs similaires, mutuellement à l'intérieur de l'écart-type de l'autre méthode et ayant des écarts-type d'ordre de grandeur similaire. De plus cela démontre que la méthode ainsi que la valeur de densité relative théorique fournies dans la norme CSA O86-14 [4] approximent bien les valeurs expérimentales, contrairement à la norme NDS 2015 [9] qui est loin des autres valeurs. La densité relative de

0.42 pour le bois ÉPS No.1 ainsi que la méthode de la norme CSA O86-14 [4] sera utilisée pour le reste de la recherche.

3.1.2. Montage expérimental pour les essais sur connexions acier-bois

Dans le cadre de la campagne d'essai sur des assemblages en cisaillement, la norme ASTM D1761-12 [16] est utilisée pour définir la procédure d'essai. Ces essais permettent de déterminer n_u , et K_f expérimentalement à partir des courbes force-déplacement représentant le comportement de l'assemblage jusqu'à la rupture.

Un échantillon d'essai typique est illustré à la Figure 3.1-4. Chaque échantillon est composé d'une pièce de bois ÉPS no. 1 de dimension 89 x 113 x 305 mm³ (3.5 x 4.5 x 12.0 po³ (valeurs nominales)) et d'une section de pontage d'acier CANAM P-3606-22 ou P-3606-20 de 152 mm (6 po) de largeur, pour y inclure une ondulation, et de 305 mm (12 po) de longueur. Ces deux éléments sont retenus ensemble par un connecteur unique. Une plaque d'ancrage d'acier de 1/4 po d'épaisseur est fixée à la pièce de bois par un boulon de 1/2 po de diamètre. Une autre pièce d'ancrage de 1/4 po d'épais est fixée à la section de pontage d'acier par l'entremise de deux boulons de 1/4 po de diamètre afin de permettre de s'attacher aux mâchoires de la presse Instron présentée à la Figure 3.1-5.

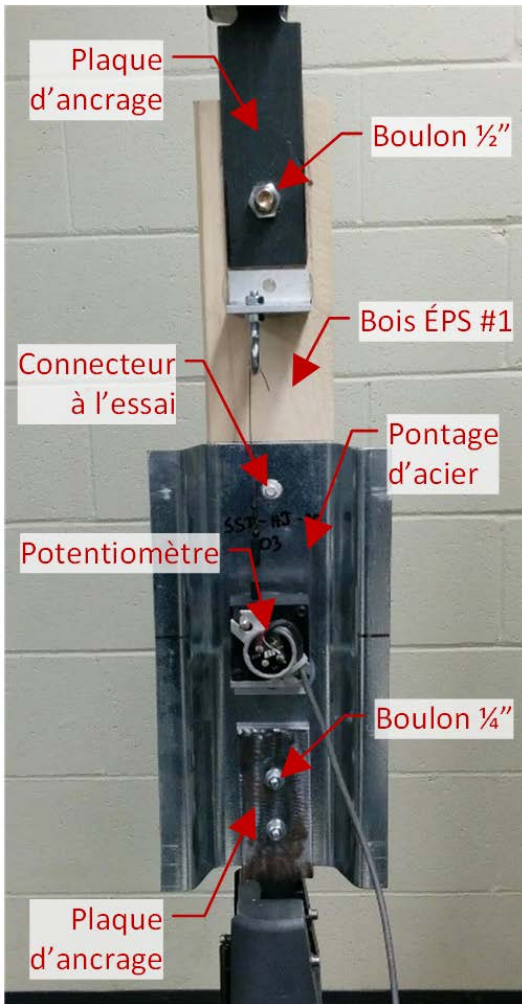


Figure 3.1-4 : Échantillon type

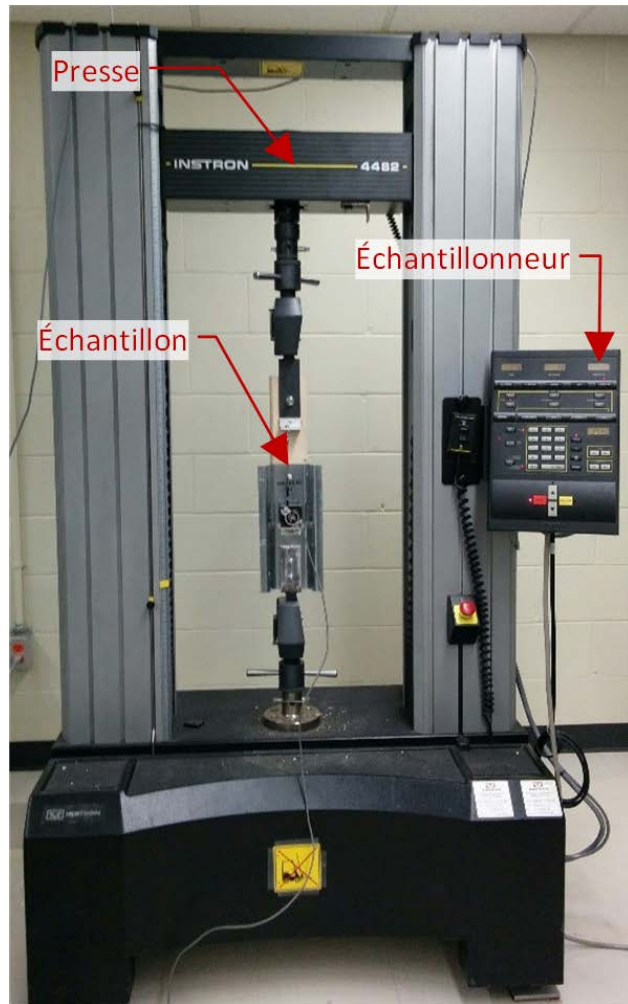


Figure 3.1-5 : Montage expérimental essai de traction

Un potentiomètre linéaire est utilisé pour mesurer les déplacements entre les deux pièces d'un assemblage. Celui-ci est installé entre deux fer-angles d'aluminiums collés à l'échantillon. Les fer-angles sont distants de 228.6 mm (9 po) et sont installés à 114.3 mm (4.5 po) de part et d'autre du connecteur analysé.

Les dimensions de la pièce de bois sont les mêmes pour tous les essais. Elles ont été déterminées en utilisant les dimensions requises par la norme CSA O86-14 [4] pour le cas le plus critique parmi tous les connecteurs. Le grade de bois a été sélectionné en raison de la facilité d'accès et du coût d'achat. Cela permet d'avoir une uniformité dans les essais. Les dimensions des plaques d'ancrage et des boulons ont été déterminées selon la norme CSA S16-09 [26]. Tous les connecteurs ont été vissés avec un couple de 11 N.m. Le montage expérimental utilisé pour tester les échantillons est illustré à la Figure 3.1-5. Il est constitué d'une presse et d'un

échantillonneur de données. Le potentiomètre analogue, ajouté à l'échantillon, est relié à l'échantillonneur par un convertisseur analogue-numérique. L'échantillonneur 5000 de Vishay est relié à un ordinateur sur lequel est exécuté le logiciel de collecte de données.

Lors d'un essai, la presse impose des déplacements à une vitesse constante de 2.54 mm par minute (0.10 po/min). Le potentiomètre illustré à la Figure 3.1-4 permet de mesurer le déplacement relatif entre la tôle d'acier et la pièce de bois. Le taux d'acquisition utilisé est de 10 échantillons par seconde à intervalle fixe. Le montage utilisé lors des essais diffère légèrement de celui proposé par la norme ASTM D1761-12 [16] (voir Figure 3.1-6). Au lieu d'attacher la pièce de bois au centre de celle-ci, ce qui requiert une roue stabilisatrice pour prévenir les effets de flexion dus à l'excentricité des forces appliquées qui génèrent un couple, une plaque d'attache en acier a été utilisée au-devant de la pièce de bois pour minimiser l'excentricité des forces de traction de part et d'autre de l'échantillon.

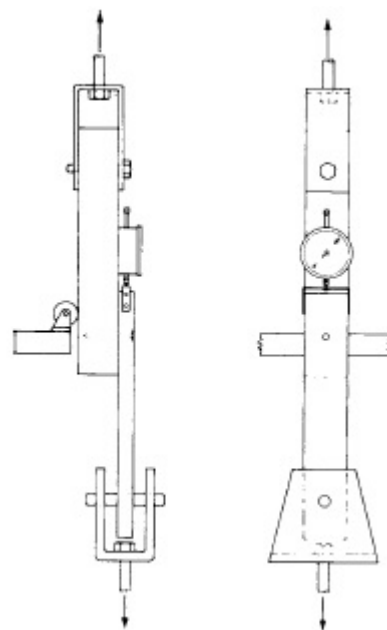


Figure 3.1-6 : Montage ASTM D1761-12

Quelques essais préliminaires ont été effectués en variant la vitesse de chargement des échantillons afin de confirmer qu'il n'y ait pas d'effet indésirable comme par exemple une augmentation de la contrainte de plastification du bois due à un taux de chargement élevé. De ces essais préliminaires, il a été conclu que la vitesse de chargement de 2.54 mm par minute proposée par la norme ASTM D1761-12 [16] était adéquate.

3.1.3. Traitement des données

Les données enregistrées lors de chaque essai doivent subir un pré-traitement avant d'être analysées. Des données parasites sont souvent présentes au début et à la fin d'un échantillonnage avant le démarrage de la presse. Celles-ci sont filtrées selon les règles suivantes :

- tous les essais présentent un délai entre le début de l'échantillonnage des données et le début du déplacement de la presse. De plus, il y a un peu de mise en place de l'échantillon

au début d'un essai. Ces données sont éliminées par inspection en déterminant par inspection visuelle le point où la charge augmente ;

- il y a un délai avant l'arrêt de l'échantillonnage des données et la rupture de l'échantillon. Ces données sont aussi éliminées par inspection en déterminant par inspection visuelle le point où il y a une chute rapide des valeurs, ce qui signifie une rupture de l'échantillon ;
- une fois les données parasites filtrées, une mise à zéro est faite pour s'assurer que les premières valeurs soient à l'origine du graphique force-déplacement.

3.1.4. Pré-analyse de la performance des méthodes

Résistance élastique d'un assemblage

Les trois méthodes précédemment présentées à la Section 2.2 ont été investiguées pour déterminer si elles permettent d'obtenir des résultats probants. Selon l'analyse des courbes force-déplacements des divers essais effectués en laboratoire, aucune méthode ne permet de déterminer adéquatement la résistance élastique du connecteur dans le contexte de connecteurs bois-acier. La résistance élastique prédite par toutes ces méthodes dépasse nettement la pente élastique initiale. La Figure 3.1-7 présente un exemple typique de résultats représentant l'écart entre les valeurs prédites par les diverses méthodes de prédiction et la résistance élastique réelle d'un assemblage. Utiliser la valeur déterminée par ces méthodes impliquerait une plastification des assemblages sous les charges de conception, ce qui contrevient à la philosophie de conception de la norme CSA O86-14 [4].

Considérant la forme de la courbe force-déplacement présentée à la Figure 3.1-7, utiliser les valeurs de force et de déplacement à 10% et 40% de la charge ultime pour déterminer la pente élastique initiale pose problème. Après essais avec les combinaisons suivantes : 10%-40%, 10%-30%, 10%-25%, 10%-20%, 5%-30%, 5%-25%, 5%-20% et 5%-15% de la charge ultime, la pente sécante entre 5% et 15% de la charge ultime a été identifiée comme celle qui permet de mieux déterminer la valeur de résistance élastique du connecteur. Les résultats pour 10%-40% et 5%-15% sont consignés dans l'Annexe B. Cette correction a été appliquée aux méthodes du 5% du diamètre et du CEN. Considérant que pour la méthode d'Y&K la valeur à 40% de la charge ultime est déterminante pour le calcul des deux rigidités (K_{10-40} et K_{40-90}), utiliser d'autres valeurs de charge ultimes créerait une trop grande divergence par rapport à la méthode

originale et demanderait beaucoup plus de recherche pour valider la modification. C'est pourquoi cette méthode a été abandonnée.

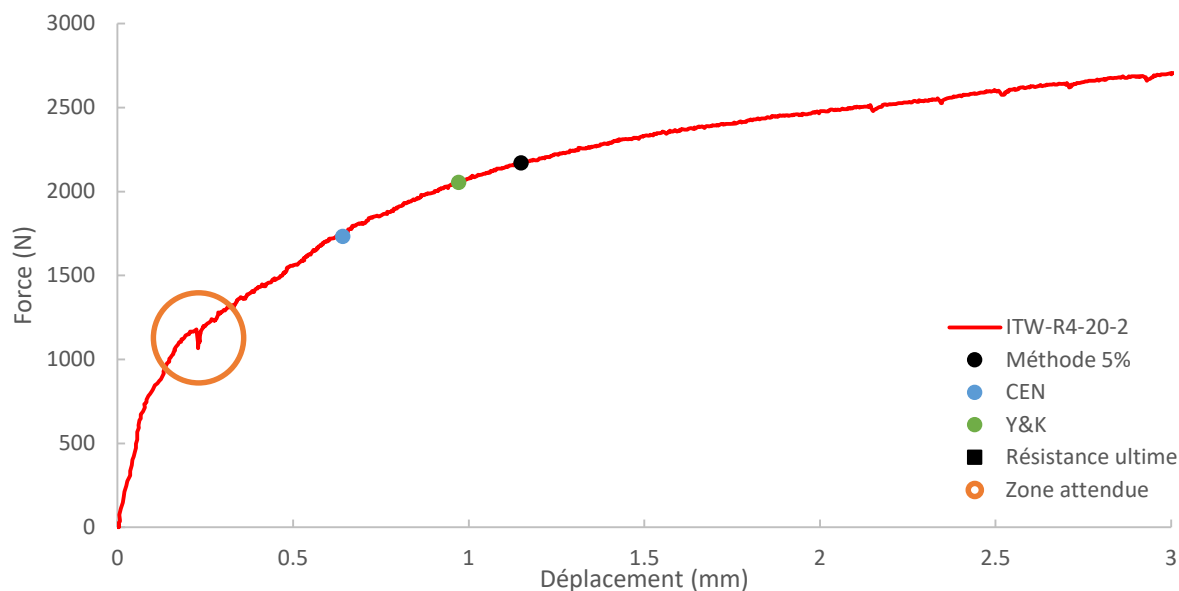


Figure 3.1-7 : Résistances calculées et zone de résistance élastique réelle pour l'essai ITW-R4-20-2

Rigidité des assemblages

La détermination de la rigidité expérimentale est aussi liée à la plage de valeurs prise pour déterminer la résistance élastique. L'utilisation de la plage 10% et 40% de la charge ultime a pour effet de conduire à des faibles valeurs de rigidité, tandis que l'utilisation de 5% et 15% de la charge ultime conduit à des valeurs de rigidité beaucoup plus élevées. Une comparaison des valeurs de rigidité obtenues dans ces deux plages sera présentée à la fin de ce chapitre.

3.2. Présentation et analyse des résultats expérimentaux

Dans le cadre de la campagne d'essais sur les assemblages en cisaillement, douze configurations différentes de connexions acier-bois ont été testées. Chacune avec une série de quatre ou cinq essais concluants. Les deux variables étudiées pour permettre la comparaison entre chacune des séries sont le type de connecteur et l'épaisseur du pontage métallique. Les séries d'essais effectués sont présentées au Tableau 3.2-1.

Tableau 3.2-1 : Liste des essais et variables utilisées

NOM DE LA SÉRIE	CONNECTEUR	PONTAGE
Clou toit 11-20	Clou à pontage de toit de Premier outils PRO #11 1-1/2	20
Clou toit 11-22	Clou à pontage de toit de Premier outils PRO #11 1-1/2	22
ITW-R4-20	Illinois Tool Works de type R4	20
ITW-R4-22	Illinois Tool Works de type R4	22
ITW-RSS-20	Illinois Tool Works de type RSS	20
ITW-RSS-22	Illinois Tool Works de type RSS	22
SST-HJ-20	Simpson Strong-Tie de type HJ	20
SST-HJ-22	Simpson Strong-Tie de type HJ	22
SST-PCULP-20	Simpson Strong-Tie de type PCULP	20
SST-PCULP-22	Simpson Strong-Tie de type PCULP	22
Rotho-TBS-6x80-20	Rothoblaas de type TBS 6x80	20
Rotho-TBS-6x80-22	Rothoblaas de type TBS 6x80	22

Chaque essai a été identifié selon la nomenclature suivante :

<Fabricant>-<Modèle de connecteur/ Clou>-<Épaisseur du pontage>-<Numéro d'essai dans la série>

Exemple : SST-HJ-22-01

Abréviations des fabricants :

- **SST** Simpson Strong-Tie
- **ITW** Illinois Tool Works
- **Rotho** Rothoblaas
- **Clou toit** Clou de toit de Premier outils PRO

Le nombre d'essais par série est variable. Des erreurs de manipulation ont mené à l'exclusion automatique de certains essais. Ces essais ne sont pas présentés dans ce rapport, par contre, le numéro de chaque essai tient compte de leur existence. Suite à une campagne d'essais, un minimum de cinq essais réussis ont été exécutés. Ce nombre est basé sur le nombre d'échantillons total disponible en fonction du nombre de connecteurs. Le nombre est petit, mais permet d'indiquer la tendance générale des connecteurs et ainsi de sélectionner les connecteurs qui feront l'objet d'essais supplémentaires pour avoir au moins dix essais concluants. Ceux-ci sont inclus dans la section relative à chaque série.

Dans cette section, chaque série d'essais est présentée individuellement. Les résultats sont présentés avec l'aide : d'un graphique force-déplacement typique, d'un tableau sommaire contenant les résultats des essais, ainsi que des photos prises lors des essais. Voici une brève définition des données présentées dans les tableaux :

F_{ult} est la charge maximale atteinte lors d'un essai;

u_{ult} est le déplacement correspondant à l'atteinte de la charge;

$F_{el,5\% 10-40}$ correspond à la charge qui correspond à la limite élastique selon la méthode de 5% du diamètre pour une plage de 10% à 40% de la charge ultime (voir Section 2.2.1);

$u_{el,5\% 10-40}$ est le déplacement correspondant à l'atteinte de la charge élastique maximale;

k_{10-40} représente la rigidité sécante élastique initiale entre 10% et 40% selon la Section 2.2.2;

$\mu_{5\% 10-40} = u_{ult}/u_{el,5\% 10-40}$ est une mesure de la ductilité;

$R_{5\% 10-40} = F_{ult}/F_{el,5\% 10-40}$ est une mesure de la capacité résiduelle de l'assemblage dans le domaine plastique.

$F_{el,5\% 5-15}$ correspond à la charge qui correspond à la limite élastique selon la méthode de 5% du diamètre pour une plage de 5% à 15% de la charge ultime (voir Section 2.2.1);

$u_{el,5\% 5-15}$ est le déplacement correspondant à l'atteinte de la charge élastique maximale;

k_{5-15} représente la rigidité sécante élastique initiale selon la méthode de la droite sécante 5% du diamètre pour une plage de 5% à 15% de la charge ultime selon la Section 2.2.2;

$\mu_{5\% 5-15} = u_{ult}/u_{el,5\% 5-15}$ est une mesure de la ductilité;

$R_{5\% 5-15} = F_{ult}/F_{el,5\% 5-15}$ est une mesure de la capacité résiduelle de l'assemblage dans le domaine plastique.

Il est à noter que les valeurs de résistance élastique et les valeurs de rigidité initiale présentées dans cette section sont basées sur la méthode de 5% du diamètre (Section 2.2.1) et la droite sécante (Section 2.2.2), respectivement. Les valeurs de résistance élastique et les valeurs de rigidité initiale calculées avec les autres méthodes d'analyses présentées à la Section 2.2 sont présentées à l'Annexe B.

3.2.1. Série d'essais Clou toit #11 1½ - 20

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai Clou toit #11 1-1/2-20-4 est présentée à la Figure 3.2-1. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit :

1) le comportement est resté élastique jusqu'à une valeur de déplacement d'environ 0.6 mm, correspondant à une charge maximale élastique $F_{el,5\% \ 5-15} = 621 \text{ N}$ ou $F_{el,5\% \ 10-40} = 832 \text{ N}$. Les deux valeurs sont généralement dans la région élastique de l'essai; 2) ensuite, la courbe force-déplacement s'est mise à perdre de la raideur à mesure que le clou s'est mis à tourner à cause de la formation d'une rotule plastique près de l'interface entre le bois et le pontage métallique. La rotation du clou a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre au-dessus de la rotule plastique. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode D selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1). La charge ultime de 1281 N a été atteinte à un déplacement 5.54 mm; 3) par la suite, l'essai s'est poursuivi en présentant un comportement instable caractérisé par la plastification de la tôle et l'écrasement du bois (pente négative) jusqu'à l'arrêt de l'essai (voir Figure 3.2-1). Sur cette photo, le clou retiré présente une déformation prononcée, en partie due au premier mode de déformation élastique, mais aussi due à une grande déformation plastique. La Figure 3.2-3 présente la forme du trou à la fin de l'essai suite au retrait du clou. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.1. Un sommaire des résultats des essais est présenté aux Tableau 3.2-2 et Tableau 3.2-3. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

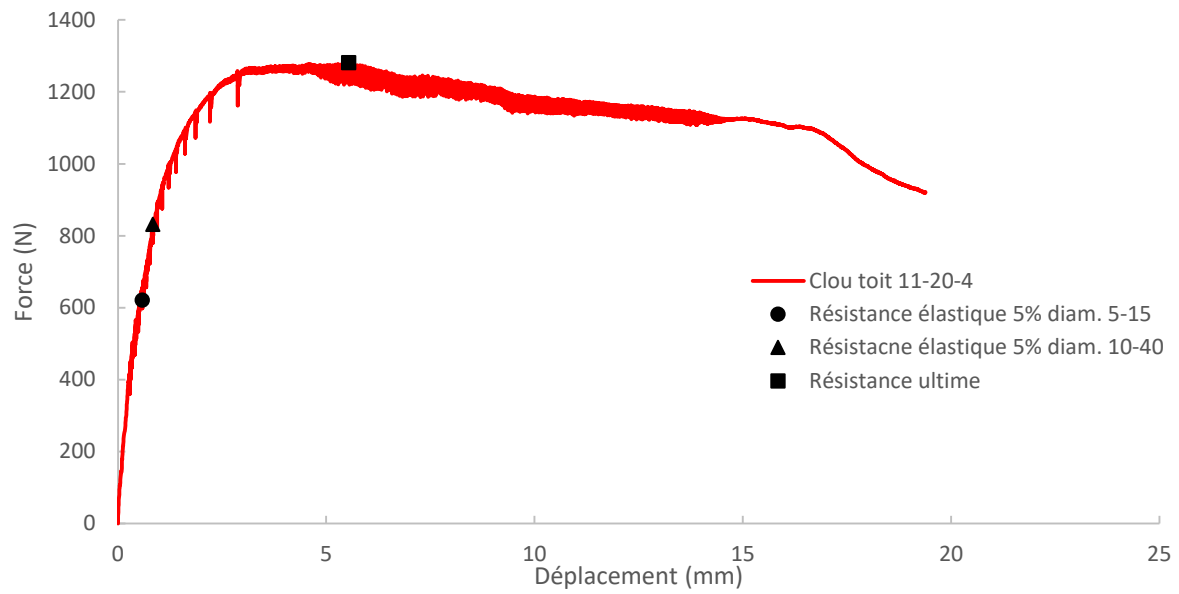


Figure 3.2-1 : Courbe force-déplacement typique : essai Clou toit #11 1-1/2-20-4

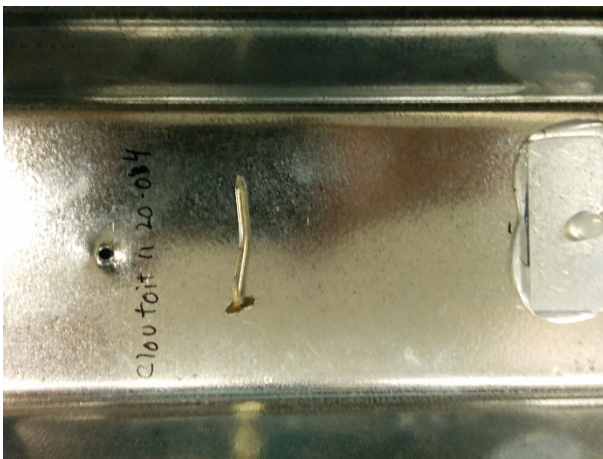


Figure 3.2-2 : État du clou suite à la rupture de l'assemblage Clou toit #11 1-1/2-20-4

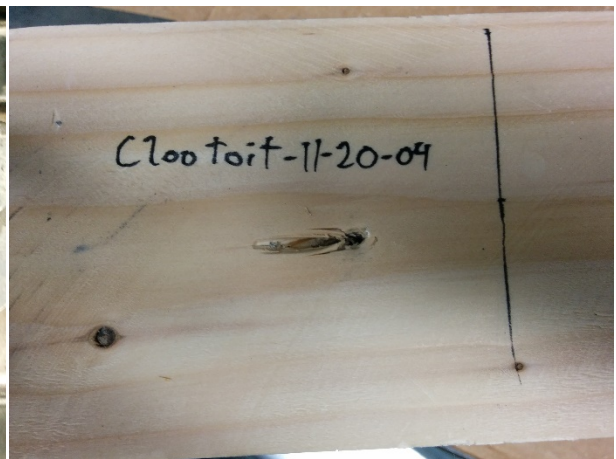


Figure 3.2-3 : État de la section de bois à la rupture de l'assemblage Clou toit #11 1-1/2-20-4

Tableau 3.2-2 : Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-20

	1	2	3	4	5	6	7
F_{ult} (N)	1287	1468	1273	1281	1783	1327	976
u_{ult} (mm)	6.04	10.27	7.45	5.54	4.17	3.59	2.49
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	822	805	689	832	1132	837	675
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	0.91	0.64	1.64	0.84	0.59	0.64	0.47
k_{10-40} (kN/mm)	0.76	0.80	0.34	0.84	1.48	0.96	1.27
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	6.64	15.97	4.56	6.60	7.09	5.63	5.25
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.57	1.82	1.85	1.54	1.58	1.59	1.45
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	590	689	430	621	1016	759	648
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.50	0.46	0.68	0.59	0.47	0.50	0.43
k_{5-15} (kN/mm)	1.67	2.19	0.81	1.46	3.19	2.17	2.33
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	12.08	22.28	11.03	9.41	8.94	7.25	5.86
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	2.18	2.13	2.96	2.06	1.75	1.75	1.51

Tableau 3.2-3 : Suite Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-20

	8	9	10	11	12	MOY.	CV
F_{ult} (N)	1367	1234	1253	1705	948	1325	18.5%
u_{ult} (mm)	6.15	9.95	3.13	4.14	3.35	5.52	46.9%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	691	650	804	987	545	789	20.0%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	0.67	1.32	0.63	0.47	0.36	0.76	48.6%
k_{10-40} (kN/mm)	0.47	0.34	1.05	1.42	1.17	0.91	42.9%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	9.20	7.55	4.96	8.82	9.38	7.64	40.5%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.98	1.90	1.56	1.73	1.74	1.69	10.0%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	531	379	666	828	530	641	27.2%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.34	0.47	0.42	0.37	0.34	0.46	21.2%
k_{5-15} (kN/mm)	2.73	1.17	2.40	4.00	2.77	2.24	39.6%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	18.10	21.21	7.38	11.18	9.91	12.58	47.0%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	2.57	3.26	1.88	2.06	1.79	2.16	24.2%

3.2.2. Série d'essais Clou toit #11 1½ - 22

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai Clou toit #11 1-1/2-22-13 est présentée à la Figure 3.2-4. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit :

1) le comportement est resté élastique jusqu'à une valeur de déplacement d'environ 0.41 mm, correspondant à une charge maximale élastique $F_{el,5\% 5-15} = 499$ N ou $F_{el,5\% 10-40} = 634$ N. Les deux valeurs sont généralement dans la région élastique de l'essai; 2) ensuite, la courbe force-déplacement s'est mise à perdre de la raideur à mesure que le clou s'est mis à tourner à cause de la formation d'une rotule plastique près de l'interface entre le bois et le pontage métallique. La rotation du clou a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression

dans le sens de la fibre au-dessus de la rotule plastique. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode D selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1) et visible à la Figure 3.2-6. La charge ultime de 1031 N a été atteinte à un déplacement 3.44 mm; 3) par la suite, l'essai s'est poursuivi en présentant un comportement instable caractérisé par la plastification de la tôle et l'écrasement du bois (pente négative) jusqu'à l'arrêt de l'essai à un déplacement de 9 mm correspondant à l'arrachement du clou en traction. Sur la Figure 3.2-5, la forme à la rupture du clou présente une forte inclinaison, en partie due au premier mode de déformation élastique, mais aussi due à une grande déformation plastique. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.2. Un sommaire des résultats des essais est présenté aux Tableau 3.2-4 et Tableau 3.2-5. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

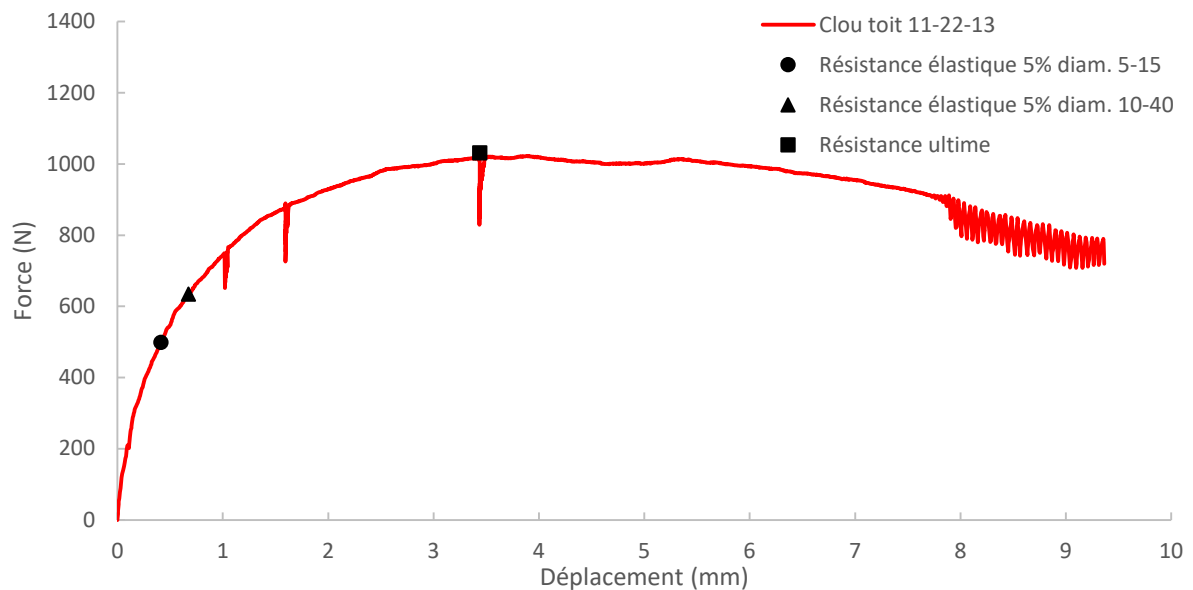


Figure 3.2-4 : Courbe force-déplacement typique : essai Clou toit #11 1-1/2-22-13

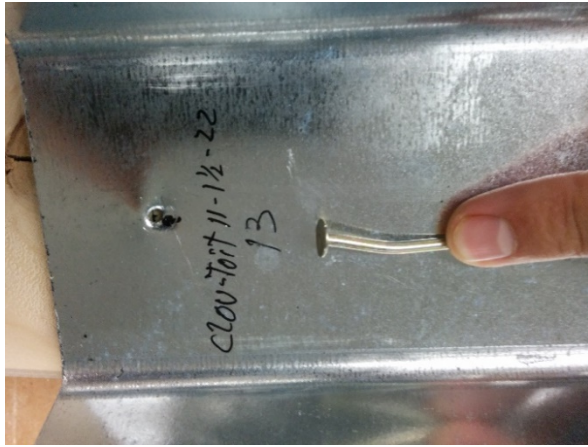


Figure 3.2-5 : État du clou suite à la rupture de l'assemblage Clou toit #11 1-1/2-22-13



Figure 3.2-6 : État de la section de bois à la rupture de l'assemblage Clou toit #11 1-1/2-20-4

Tableau 3.2-4 : Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-22

	6	7	8	9	10	11
F_{ult} (N)	1257	1074	1324	1529	1230	1079
u_{ult} (mm)	5.86	9.77	16.55	9.29	8.12	3.70
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	835	579	621	820	784	847
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	0.90	0.74	1.50	1.07	1.53	0.65
k_{10-40} (kN/mm)	1.12	0.98	0.46	0.89	0.57	1.70
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	6.54	13.18	11.00	8.71	5.29	5.73
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.51	1.85	2.13	1.86	1.57	1.27
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	604	468	350	446	372	586
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.52	0.44	0.42	0.23	0.49	0.33
k_{5-15} (kN/mm)	1.63	1.59	1.30	5.43	1.09	3.14
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	11.35	22.04	39.78	40.20	16.67	11.12
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	2.08	2.29	3.78	3.43	3.31	1.84

Tableau 3.2-5 : Suite Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-22

	12	13	14	15	MOY.	CV
F_{ult} (N)	836	1031	1418	1045	1182	17.6%
u_{ult} (mm)	2.74	3.44	2.77	2.12	6.43	70.8%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	525	634	835	774	725	16.8%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	0.68	0.67	0.55	0.73	0.90	39.5%
k_{10-40} (kN/mm)	0.99	1.20	2.07	1.33	1.13	43.0%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	4.04	5.10	5.05	2.90	6.76	47.9%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.59	1.63	1.70	1.35	1.65	15.5%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	565	499	753	431	507	24.0%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.79	0.41	0.43	0.28	0.43	35.5%
k_{5-15} (kN/mm)	0.88	1.88	2.69	3.23	2.29	60.4%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	3.46	8.32	6.47	7.56	16.70	80.0%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	1.48	2.07	1.88	2.42	2.46	31.5%

3.2.3. Série d'essais ITW R4 – 20

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai ITW-R4-20-2 est présentée à la Figure 3.2-7. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté purement élastique jusqu'à une valeur de résistance élastique évaluée à $F_{el,5\% 5-15} = 1227$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 5-15} = 0.27$ mm ou à $F_{el,5\% 10-40} = 2170$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 10-40} = 1.15$ mm. La valeur de résistance élastique évaluée entre 10 % et 40% de la charge ultime est au-delà de la zone élastique de l'essai. Suite à ce déplacement, le comportement a commencé à s'adoucir progressivement à mesure qu'une rotule plastique dans la vis près de l'interface entre le bois et le pontage a été initiée. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre au-dessous de la rotule plastique. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode D selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1); 2) ensuite, l'acier de la tôle en contact avec la vis s'est mis à se plastifier à cause d'une pression diamétrale excessive à un déplacement de 1,5 mm et une charge de 2300 N. Le changement de comportement est nettement visible sur la courbe à cet endroit. Par la suite, la charge a continué d'augmenter pendant que l'acier est en phase d'écrouissage suivi d'un poinçonnement du pontage par la tête du connecteur. La charge ultime de 4450 N a été atteinte à un déplacement de 12.76 mm; 3) suite à l'atteinte de la charge ultime, la charge a chuté brusquement lorsque l'acier autour de la vis s'est mis à se déchirer. Les courbes

force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.3. Les Figure 3.2-8 et Figure 3.2-9 présentent des photos de la pièce de bois et de la tôle suite au deuxième essai de cette série. L'état final de la vis, qui a nettement pivoté autour de sa rotule plastique en partie dû au premier mode de déformation élastique, mais aussi dû à une grande déformation plastique, est présenté à la Figure 3.2-8. La tôle d'acier déchirée est présentée à la Figure 3.2-9. Sur cette photo, la tôle d'acier présente une déchirure clairement observable. Un sommaire des résultats des essais est présenté au Tableau 3.2-6. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

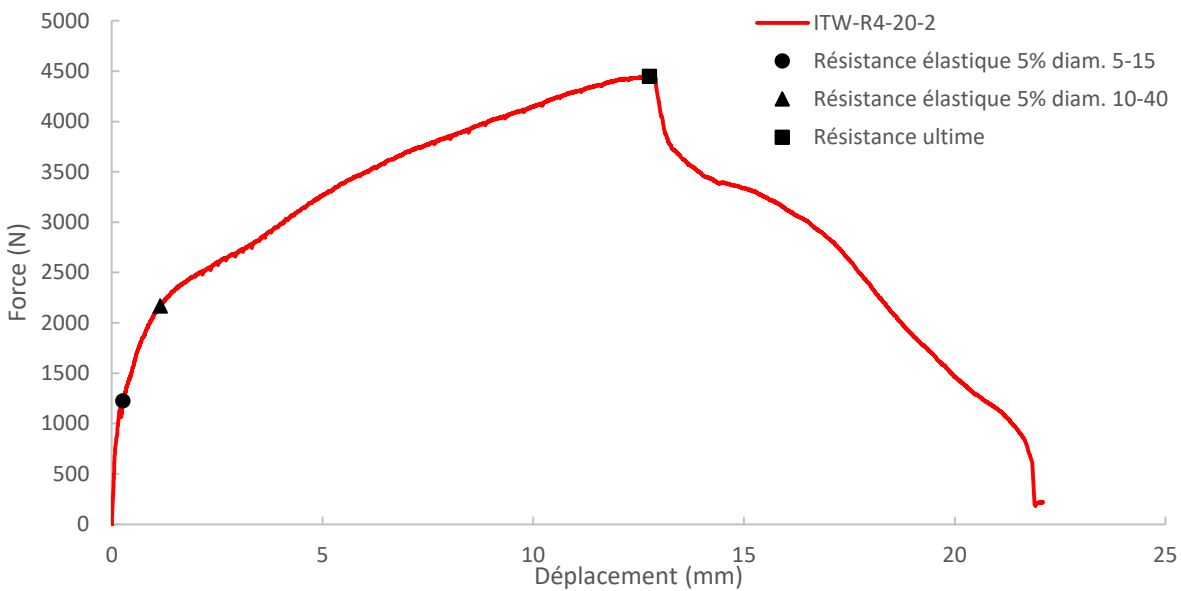


Figure 3.2-7 : Courbe force-déplacement typique : essai ITW R4-20-2



Figure 3.2-8 : État de la vis suite à l'essai ITW-R4-20-2

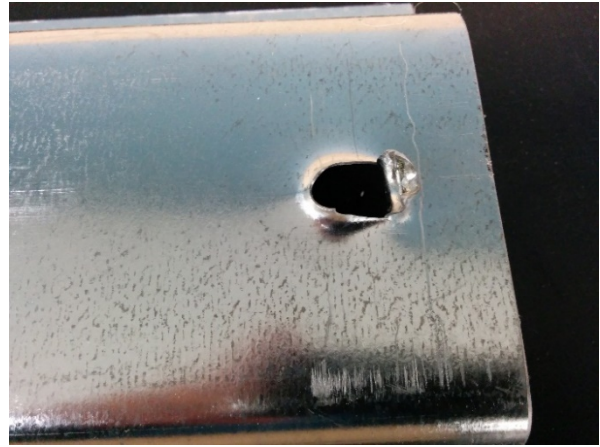


Figure 3.2-9 : Déchirure de la tôle suite à l'essai ITW-R4-20-2

Tableau 3.2-6 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-R4-20

	1	2	3	4	6	MOY.	CV
F_{ult} (N)	3736	4450	3989	3892	3941	4002	6.7%
u_{ult} (mm)	11.37	12.76	11.36	11.53	13.13	12.03	7.1%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	1773	2170	2003	1941	1871	1952	7.6%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	1.83	1.15	1.29	1.93	1.08	1.45	27.2%
k_{10-40} (kN/mm)	1.07	2.17	1.76	1.09	2.01	1.62	31.6%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	6.21	11.10	8.84	5.98	12.15	8.86	31.5%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	2.11	2.05	1.99	2.01	2.11	2.05	2.7%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	989	1227	1151	995	1213	1115	10.4%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.55	0.27	0.29	0.42	0.25	0.35	35.9%
k_{5-15} (kN/mm)	2.49	10.34	8.22	3.75	11.66	7.29	55.2%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	20.64	48.15	39.17	27.71	52.11	37.55	35.5%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	2.49	10.34	8.22	3.75	11.66	7.29	55.2%

3.2.4. Série d'essais ITW R4 - 22

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai ITW-R4-22-5 est présentée à la Figure 3.2-10. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté purement élastique jusqu'à une valeur de résistance élastique évaluée à $F_{el,5\% 5-15} = 1013$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 5-15} = 0.34$ mm ou à $F_{el,5\% 10-40} = 1743$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 10-40} = 1.32$ mm. La valeur de résistance élastique évaluée entre 10 % et 40% de la charge ultime est au-delà de la zone élastique de l'essai. Suite à ce déplacement, le comportement a commencé à s'adoucir progressivement à mesure qu'une rotule plastique dans la vis près de l'interface entre le bois et

le pontage a été initiée. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre au-dessus de la rotule plastique. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode D selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1); 2) ensuite, l'acier de la tôle en contact avec la vis s'est mis à se plastifier à cause d'une pression diamétrale excessive à un déplacement de 1,5 mm et une charge de 1750 N. Le changement de comportement est nettement visible sur la courbe à cet endroit. Par la suite, la charge a continué d'augmenter pendant que l'acier est en phase d'écrouissage suivi d'un poinçonnement du pontage par la tête du connecteur. La charge ultime de 3422 N a été atteinte à un déplacement de 11.48 mm; 3) suite à l'atteinte de la charge ultime, la charge a chuté brusquement lorsque l'acier autour de la vis s'est mis à se déchirer. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.4. Les Figure 3.2-11 et Figure 3.2-12 présentent des photos de la pièce de bois et de la tôle suite au cinquième essai de cette série. L'état final de la vis, qui a nettement pivoté autour de sa rotule plastique en partie dû au premier mode de déformation élastique, mais aussi dû à une grande déformation plastique, est présenté à la Figure 3.2-11. La tôle d'acier déchirée est présentée à la Figure 3.2-12. Sur cette photo, la tôle d'acier présente une déchirure clairement observable. Un sommaire des résultats des essais est présenté au Tableau 3.2-7. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

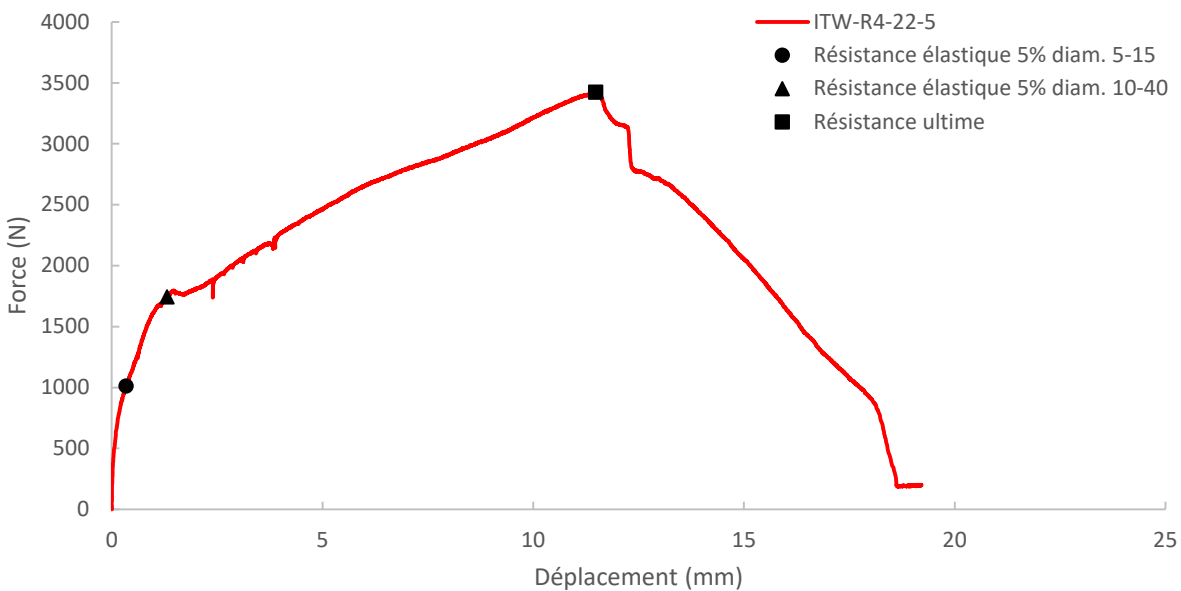


Figure 3.2-10 : Courbe force-déplacement typique : essai ITW-R4-22-5

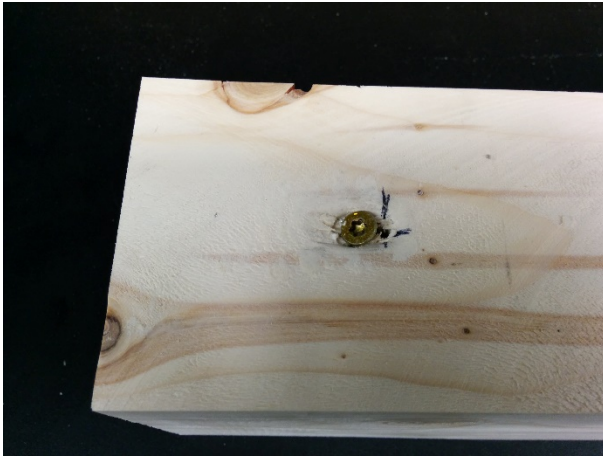


Figure 3.2-11 : État de la vis suite à l'essai
ITW-R4-22-5

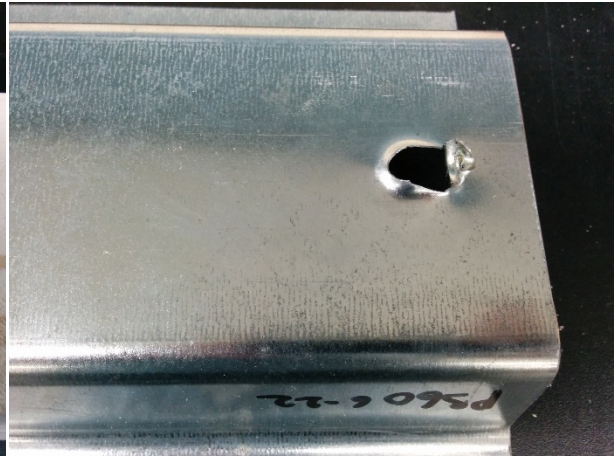


Figure 3.2-12 : Déchirure de la tôle suite à
l'essai ITW-R4-22-5

Tableau 3.2-7 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-R4-22

	1	3	4	5	6	MOY.	CV
F_{ult} (N)	3251	3208	3693	3422	3855	3486	8.1%
u_{ult} (mm)	10.23	9.43	9.23	11.48	17.03	11.48	28.1%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	1941	1517	1795	1743	1815	1762	8.8%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	1.30	1.19	1.18	1.32	1.09	1.22	7.8%
k_{10-40} (kN/mm)	1.67	1.46	1.73	1.49	1.93	1.66	11.6%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	7.85	7.94	7.80	8.73	15.64	9.59	35.5%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.67	2.11	2.06	1.96	2.12	1.99	9.3%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	1044	1007	1123	1013	1172	1072	6.8%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.24	0.32	0.41	0.34	0.22	0.30	25.6%
k_{5-15} (kN/mm)	11.46	5.74	4.35	5.29	16.95	8.76	61.2%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	42.82	29.36	22.74	33.46	79.20	41.52	53.7%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	3.11	3.19	3.29	3.38	3.29	3.25	3.2%

3.2.5. Série d'essais ITW RSS – 20

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai ITW-RSS-20-1 est présentée à la Figure 3.2-13. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté purement élastique jusqu'à une valeur de résistance élastique évaluée à $F_{el,5\% 5-15} = 1099$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 5-15} = 0.59$ mm ou à $F_{el,5\% 10-40} = 2216$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 10-40} = 2.22$ mm. La valeur de résistance élastique évaluée entre 10 % et 40% de la charge ultime est au-delà de la zone élastique de l'essai. Suite à ce déplacement, le comportement a commencé à s'adoucir

progressivement à mesure qu'une rotule plastique dans la vis près de l'interface entre le bois et le pontage a été initiée. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre au-dessus de la rotule plastique. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode D selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1); 2) ensuite, l'acier de la tôle en contact avec la vis s'est mis à se plastifier à cause d'une pression diamétrale excessive à un déplacement de 2.5 mm et une charge de 2300 N. Le changement de comportement est nettement visible sur la courbe à cet endroit. Par la suite, la charge a continué d'augmenter pendant que l'acier est en phase d'écrouissage suivi d'un poinçonnement du pontage par la tête du connecteur. La charge ultime de 4874 N a été atteinte à un déplacement de 16.47 mm; 3) suite à l'atteinte de la charge ultime, la charge a chuté brusquement lorsque l'acier autour de la vis s'est mis à se déchirer. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.5. Les Figure 3.2-14 et Figure 3.2-15 présentent des photos de la pièce de bois et de la tôle suite au premier essai de cette série. Une vue de section de l'état final de la vis, qui a nettement pivoté autour de sa rotule plastique en partie dû au premier mode de déformation élastique, mais aussi dû à une grande déformation plastique, est présenté à la Figure 3.2-14. La tôle d'acier déchirée est présentée à la Figure 3.2-15. Sur cette photo, la tôle d'acier présente une déchirure clairement observable. Un sommaire des résultats des essais est présenté au Tableau 3.2-8. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

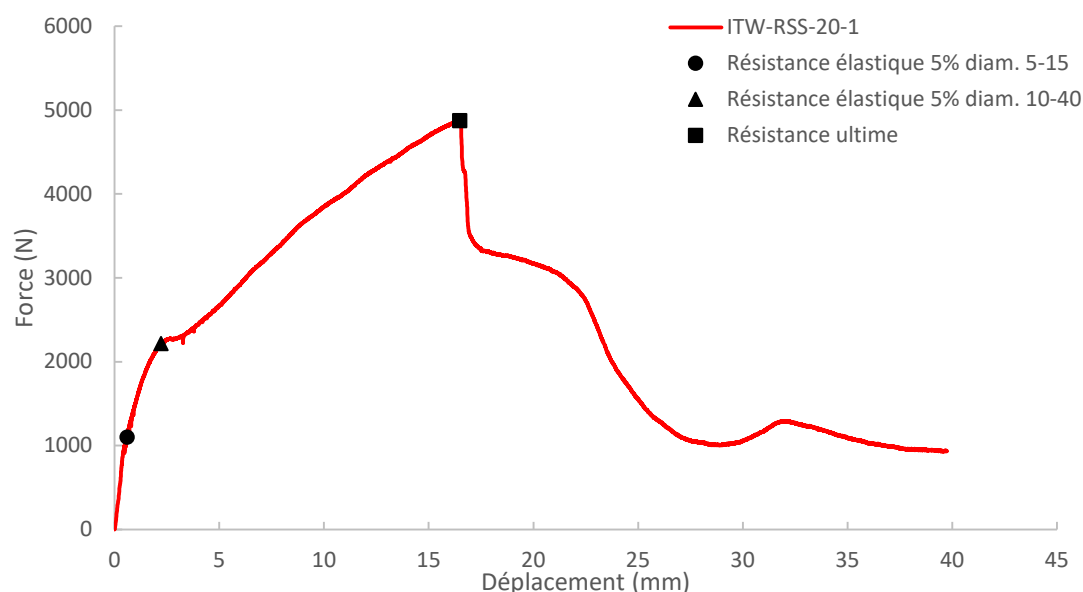


Figure 3.2-13 : Courbe force-déplacement typique : essai ITW-RSS-20-1



Figure 3.2-14 : Section montrant l'état de la vis suite à l'essai ITW-RSS-20-1



Figure 3.2-15 : Déchirure de la tôle suite à l'essai ITW-RSS-20-1

Tableau 3.2-8 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-RSS-20

	1	2	3	4	6	MOY.	CV
F_{ult} (N)	4874	5723	5467	5109	4626	5160	8.6%
u_{ult} (mm)	16.47	13.15	19.07	13.96	19.29	16.39	17.3%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	2216	2756	2500	2408	2039	2384	11.5%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	2.22	2.51	3.94	2.31	2.06	2.61	29.3%
k_{10-40} (kN/mm)	1.07	1.17	0.66	1.12	1.07	1.02	20.0%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	7.43	5.23	4.84	6.05	9.39	6.59	28.1%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	2.20	2.08	2.19	2.12	2.27	2.17	3.4%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	1099	1148	1349	1731	1235	1312	19.2%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.59	0.49	1.00	1.22	0.42	0.74	46.8%
k_{5-15} (kN/mm)	2.37	3.36	1.58	1.61	4.46	2.68	46.0%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	28.06	26.83	19.09	11.42	45.60	26.20	48.6%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	4.43	4.99	4.05	2.95	3.75	4.03	18.9%

3.2.6. Série d'essais ITW RSS – 22

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai ITW-RSS-22-4 est présentée à la Figure 3.2-16. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté purement élastique jusqu'à une valeur de résistance élastique évaluée à $F_{el,5\%} = 1224$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\%} = 0.46$ mm ou à $F_{el,5\% 10-40} = 2421$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 10-40} = 2.76$ mm. La valeur de résistance élastique évaluée entre 10 % et 40% de la charge ultime est au-delà de la zone élastique de l'essai. Suite à ce déplacement, le comportement a commencé à s'adoucir progressivement à mesure qu'une

rotule plastique dans la vis près de l'interface entre le bois et le pontage a été initiée. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre au-dessus de la rotule plastique. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode D selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1); 2) ensuite, l'acier de la tôle en contact avec la vis s'est mis à se plastifier à cause d'une pression diamétrale excessive à un déplacement de 1.5 mm et une charge de 1900 N. Le changement de comportement est nettement visible sur la courbe à cet endroit. Par la suite, la charge a continué d'augmenter pendant que l'acier est en phase d'écrouissage suivi d'un poinçonnement du pontage par la tête du connecteur. La charge ultime de 5128 N a été atteinte à un déplacement de 14.20 mm; 3) suite à l'atteinte de la charge ultime, la charge a chuté brusquement lorsque l'acier autour de la vis s'est mis à se déchirer. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.6. Les Figure 3.2-17 et Figure 3.2-18 présentent des photos de la pièce de bois et de la tôle suite à cet essai de cette série. L'état final de la vis, qui a nettement pivoté autour de sa rotule plastique en partie dû au premier mode de déformation élastique, mais aussi dû à une grande déformation plastique, est présenté à la Figure 3.2-17. La tôle d'acier déchirée est présentée à la Figure 3.2-18. Sur cette photo, la tôle d'acier présente une déchirure clairement observable. Un sommaire des résultats des essais est présenté au Tableau 3.2-9. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

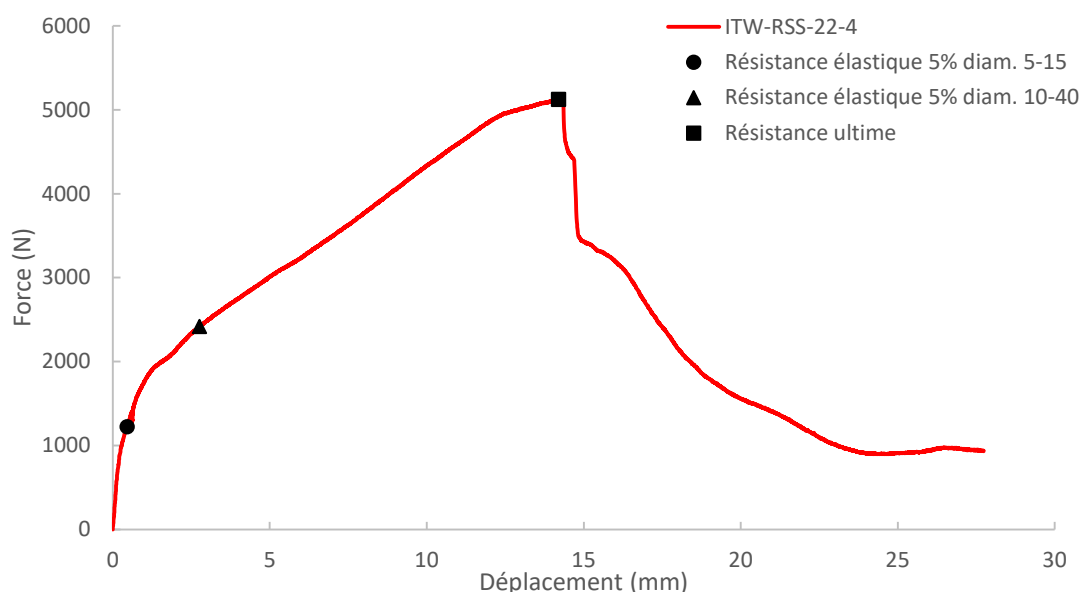


Figure 3.2-16 : Courbe force-déplacement typique : essai ITW-RSS-22-4



Figure 3.2-17 : État de la vis suite à l'essai
ITW-RSS-22-4

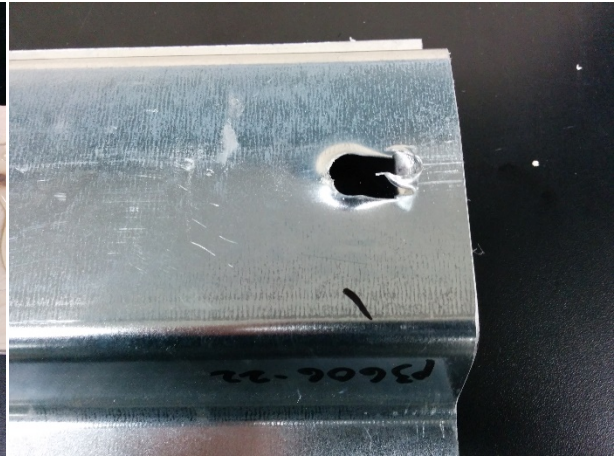


Figure 3.2-18 : Déchirure de la tôle suite à
l'essai ITW-RSS-22-4

Tableau 3.2-9 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-RSS-22

	1	2	3	4	6	MOY.	CV
F_{ult} (N)	5399	5921	4856	5128	4585	5178	9.9%
u_{ult} (mm)	13.95	12.46	12.46	14.20	15.35	13.68	9.0%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	2570	2631	2124	2421	2564	2462	8.3%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	4.04	2.00	1.85	2.76	1.34	2.40	43.7%
k_{10-40} (kN/mm)	0.66	1.42	1.25	0.93	2.14	1.28	44.1%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	3.46	6.23	6.73	5.14	11.42	6.60	45.1%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	2.10	2.25	2.29	2.12	1.79	2.11	9.3%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	1242	1270	1367	1224	1415	1304	6.4%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.50	0.52	0.33	0.46	0.29	0.42	24.8%
k_{5-15} (kN/mm)	3.61	3.40	7.67	3.95	10.02	5.73	51.8%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	28.01	23.96	38.23	31.20	52.92	34.87	32.6%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	4.25	4.66	3.55	4.19	3.24	4.00	14.7%

3.2.7. Série d'essais SST HJ – 20

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai SST-HJ-20-10 est présentée à la Figure 3.2-19. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté élastique jusqu'à une valeur de déplacement de 0.59 mm, correspondant à une charge maximal élastique de $F_{el,5\% 5-15} = 1073$ N ou $F_{el,5\% 10-40} = 1796$ N. Les deux valeurs sont généralement dans la région élastique de l'essai; 2) ensuite, la courbe force-déplacement s'est mise à perdre de la raideur à mesure que la vis s'est mise à tourner. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre

et de la compression sur la tôle d'acier à la tête de la vis. La charge ultime de 3310 N a été atteinte à un déplacement 10.61 mm; 3) par la suite, l'essai s'est poursuivi en présentant un comportement instable caractérisé par la plastification de la tôle et l'écrasement du bois (pente négative) jusqu'à la rupture à un déplacement de 22 mm correspondant à l'arrachement de la vis fortement inclinée en traction. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode F selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1) tel que montré par la Figure 3.2-20 où la vis est restée droite jusqu'à la rupture. La Figure 3.2-21 présente l'état de la tôle après l'essai où la tôle est déformée près du support de la tête sans déchirure. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.7. Un sommaire des résultats des essais est présenté aux Tableau 3.2-10 et Tableau 3.2-11. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

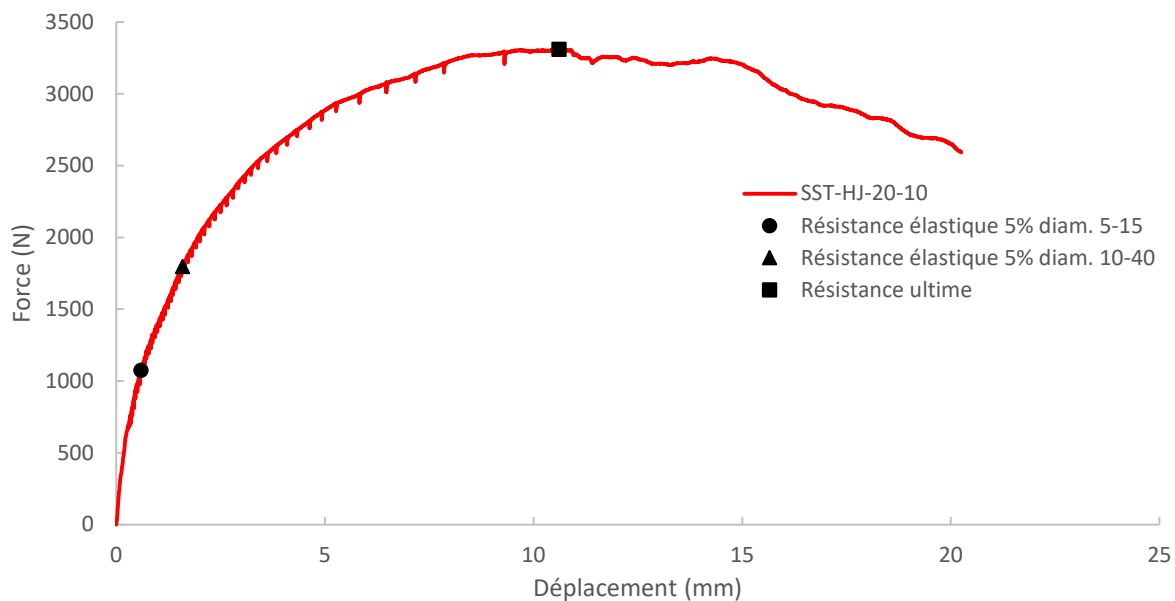


Figure 3.2-19 : Courbe force-déplacement typique : essai SST-HJ-20-10



Figure 3.2-20 : Section montrant l'état de la vis suite à l'essai SST-HJ-20-10



Figure 3.2-21 : État de la vis suite à l'essai SST-HJ-20-10

Tableau 3.2-10 : Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-20

	2	3	4	5	6	7
F_{ult} (N)	2656	3727	3333	3036	2978	3493
u_{ult} (mm)	10.07	10.31	11.71	8.18	12.37	13.32
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	1841	1856	1606	2075	1545	1530
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	1.69	1.28	0.79	2.30	1.49	2.69
k_{10-40} (kN/mm)	1.19	1.65	2.49	0.96	1.15	0.60
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	5.96	8.06	14.82	3.56	8.29	4.94
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.44	2.01	2.08	1.46	1.93	2.28
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	1096	1212	1374	866	885	896
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.83	0.44	0.56	0.63	0.49	0.69
k_{5-15} (kN/mm)	1.60	4.06	3.34	1.78	2.60	1.65
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	12.16	23.21	20.91	12.92	25.34	19.24
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	2.42	3.08	2.43	3.51	3.36	3.90

Tableau 3.2-11 : Suite Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-20

	8	9	10	11	MOY.	CV
F_{ult} (N)	3615	4142	3310	3387	3368	12.4%
u_{ult} (mm)	11.37	10.77	10.61	17.39	11.61	21.2%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	1663	2345	1796	1731	1799	14.1%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	2.49	1.06	1.59	2.44	1.78	37.1%
k_{10-40} (kN/mm)	0.71	2.58	1.25	0.76	1.33	52.7%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	4.57	10.20	6.69	7.13	7.42	43.9%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	2.17	1.77	1.84	1.96	1.89	14.6%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	867	1171	1073	1628	1107	22.7%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.58	0.33	0.59	2.15	0.73	70.8%
k_{5-15} (kN/mm)	1.99	6.33	2.42	0.81	2.66	59.8%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	19.70	32.53	17.92	8.10	19.20	36.8%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	4.17	3.54	3.08	2.08	3.16	21.5%

3.2.8. Série d'essais SST HJ – 22

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai SST-HJ-22-4 est présentée à la Figure 3.2-22. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté élastique jusqu'à une valeur de déplacement de 0.63 mm, correspondant à une charge maximal élastique de $F_{el,5\%} = 1032$ N ou $F_{el,5\% 10-40} = 1649$ N. Les deux valeurs sont généralement dans la région élastique de l'essai; 2) ensuite, la courbe force-déplacement s'est mise à perdre de la raideur à mesure que la vis s'est mise à tourner. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre et de la compression sur la tôle d'acier à la tête de la vis. La charge ultime de 3071 N a été atteinte à un déplacement 15.20 mm; 3) par la suite, l'essai s'est poursuivi en présentant un comportement instable caractérisé par la plastification de la tôle et l'écrasement du bois (pente négative) jusqu'à la rupture à un déplacement de 29 mm correspondant à l'arrachement de la vis fortement inclinée en traction. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode F selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1) tel que montré par la Figure 3.2-23 où la vis est restée droite jusqu'à la rupture. La Figure 3.2-24 présente l'état de la tôle après l'essai où la tôle est déformée près du support de la tête sans déchirure. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.8. Un sommaire des résultats des essais est présenté aux Tableau 3.2-12 et

Tableau 3.2-13. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

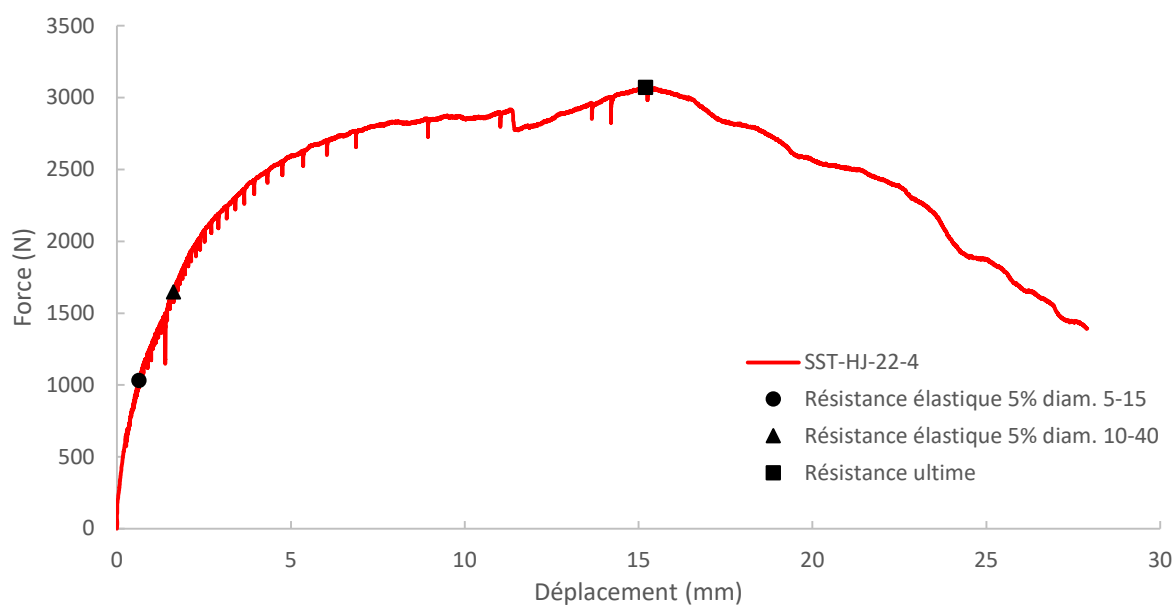


Figure 3.2-22 : Courbe force-déplacement typique : essai SST-HJ-22-4



Figure 3.2-23 : État de la vis suite à l'essai SST-HJ-22-4



Figure 3.2-24 : Compression de la tôle suite à l'essai SST-HJ-22-4

Tableau 3.2-12 : Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-22

	1	3	4	5	6	7
F_{ult} (N)	3419	2485	3071	2936	2332	2523
u_{ult} (mm)	18.66	9.61	15.20	13.84	10.67	13.29
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	2186	1422	1649	1520	1187	1286
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	2.24	1.48	1.63	1.03	0.80	0.86
k_{10-40} (kN/mm)	1.04	1.07	1.11	1.92	1.82	1.81
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	8.33	6.51	9.34	13.50	13.33	15.52
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.56	1.75	1.86	1.93	1.96	1.96
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	971	1215	1032	1153	1047	973
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.62	1.18	0.63	0.50	0.60	0.47
k_{5-15} (kN/mm)	2.05	1.18	2.14	3.30	2.30	3.05
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	30.13	8.15	24.20	27.79	17.66	28.57
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	3.52	2.05	2.98	2.55	2.23	2.59

Tableau 3.2-13 : Suite Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-22

	8	9	10	11	MOY.	CV
F_{ult} (N)	3074	2783	3616	3185	2942	14.1%
u_{ult} (mm)	11.93	9.86	13.61	13.34	13.00	20.8%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	1438	1473	1695	1659	1552	17.8%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	1.57	1.02	1.55	1.82	1.40	33.1%
k_{10-40} (kN/mm)	1.01	1.68	1.21	0.99	1.37	28.3%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	7.62	9.63	8.78	7.32	9.99	30.5%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	2.14	1.89	2.13	1.92	1.91	8.8%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	919	1075	996	947	1033	9.1%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.62	0.58	0.49	0.69	0.64	32.0%
k_{5-15} (kN/mm)	1.94	2.50	2.90	1.74	2.31	27.9%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	19.17	17.11	27.84	19.33	22.00	31.5%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	3.34	2.59	3.63	3.36	2.88	19.5%

3.2.9. Série d'essais SST PCULP – 20

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai SST-PCULP-20-5 est présentée à la Figure 3.2-25. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté élastique jusqu'à une valeur de déplacement de 0.35 mm, correspondant à une charge maximal élastique de $F_{el,5\%} = 1246$ N ou $F_{el,5\% 10-40} = 1655$ N. Les deux valeurs sont généralement dans la région élastique de l'essai; 2) ensuite, la courbe force-déplacement s'est mise à perdre de la raideur à mesure que la vis s'est mise à tourner. Le changement de comportement est nettement visible sur la courbe. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre et de la

compression sur la tôle d'acier à la tête de la vis où l'acier est en phase d'écroutissage suivi d'un poinçonnement du pontage par la tête du connecteur.. La charge ultime de 3025 N a été atteinte à un déplacement 6.52 mm; 3) par la suite, l'essai s'est poursuivi en présentant un comportement instable caractérisé par la plastification de la tôle par poinçonnement et l'écrasement du bois (pente négative) jusqu'à la rupture à un déplacement de 30 mm correspondant à l'arrachement de la vis en traction. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode F selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1) tel que montré par la Figure 3.2-26 où la vue en section montre la rupture et que la vis est restée droite jusqu'à la rupture. La Figure 3.2-27 présente l'état de la tôle après l'essai où la tôle est déformée près du support de la tête sans déchirure. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.9. Un sommaire des résultats des essais est présenté au Tableau 3.2-14. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

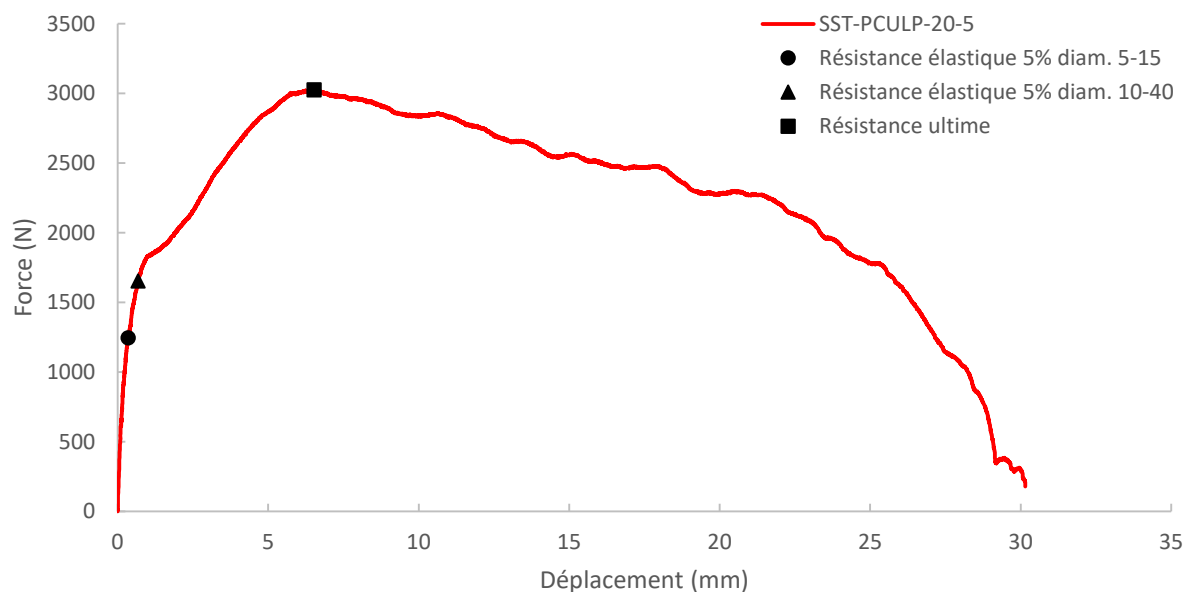


Figure 3.2-25 : Courbe force-déplacement typique : essai SST-PCULP-20-5



Figure 3.2-26 : Section montrant le mode de rupture de l'essai SST-PCULP-20-5

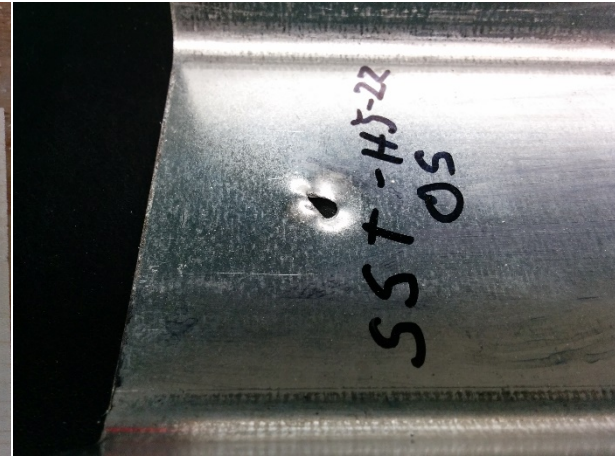


Figure 3.2-27 : Compression de la tôle suite à l'essai SST-PCULP-20-5

Tableau 3.2-14 : Résistance élastique et ultime : essais SST-PCULP-20

	1	3	5	6	7	MOY.	CV
F_{ult} (N)	3680	4224	3025	3257	3156	3468	14.1%
u_{ult} (mm)	8.05	11.38	6.52	7.40	13.44	9.36	31.3%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	1904	2152	1655	1734	1581	1805	12.6%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	0.72	2.22	0.68	0.97	0.55	1.03	66.8%
k_{10-40} (kN/mm)	3.34	1.04	3.14	2.10	3.95	2.72	42.3%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	11.26	5.13	9.66	7.62	24.61	11.66	65.2%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.93	1.96	1.83	1.88	2.00	1.92	3.5%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	1526	1294	1246	1047	1355	1294	13.4%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.42	0.78	0.35	0.25	0.33	0.43	48.0%
k_{5-15} (kN/mm)	5.55	2.06	5.98	10.45	7.19	6.25	48.4%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	18.99	14.62	18.43	29.73	40.23	24.40	43.0%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	2.41	3.26	2.43	3.11	2.33	2.71	16.3%

3.2.10. Série d'essais SST PCULP – 22

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai SST-PCULP-22-5 est présentée à la Figure 3.2-28. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté purement élastique jusqu'à une valeur de déplacement de 0.48 mm correspondant à une charge maximal élastique de $F_{el,5\%} = 1230$ N ou $F_{el,5\% 10-40} = 1450$ N. La valeur de résistance élastique évaluée entre 10 % et 40% de la charge ultime est au-delà de la zone élastique de l'essai. Suite à ce déplacement, le comportement a commencé à s'adoucir progressivement à mesure qu'une rotule plastique dans la vis près de

l'interface entre le bois et le pontage a été initiée. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre au-dessus de la rotule plastique; 2) ensuite, l'acier de la tôle en contact avec la vis s'est mis à se plastifier à cause d'une pression diamétrale excessive à un déplacement de 1 mm et une charge de 1400 N. Le changement de comportement est nettement visible sur la courbe à cet endroit. Par la suite, la charge a continué d'augmenter pendant que l'acier est en phase d'écrouissage suivi d'un poinçonnement du pontage par la tête du connecteur. La charge ultime de 3418 N a été atteinte à un déplacement de 9.57 mm; 3) suite à l'atteinte de la charge ultime, la charge a chuté brusquement lorsque l'acier autour de la vis s'est mis à se déchirer. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.10. Le mode de rupture observé lors des essais est le mode F. Ce mode n'est pas consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode D selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1). La Figure 3.2-29 présente la déformée finale de la vis, qui a nettement pivoté autour de sa rotule plastique. La tôle d'acier déchirée est présentée à la Figure 3.2-30. Sur cette photo, la tôle d'acier présente une déchirure clairement observable. Un sommaire des résultats des essais est présenté au Tableau 3.2-15. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

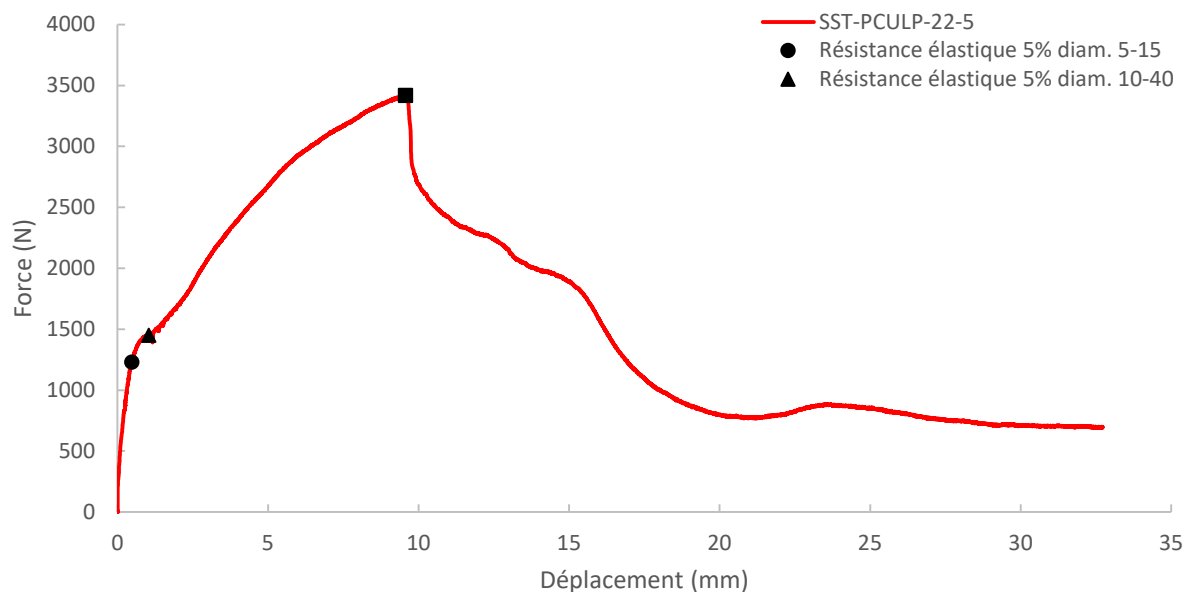


Figure 3.2-28 : Courbe force-déplacement typique : essai SST-PCULP-22-5

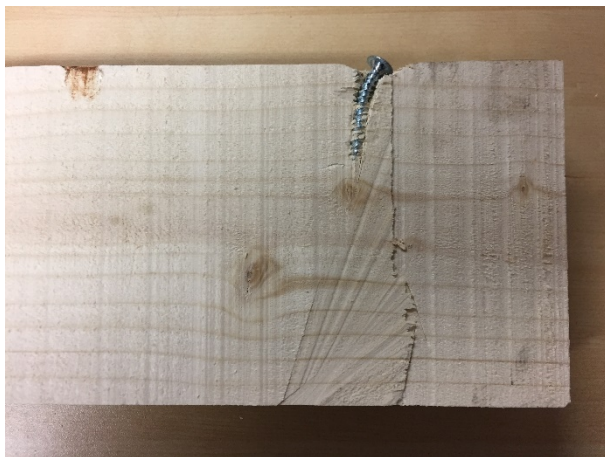


Figure 3.2-29 : Section montrant le mode de rupture de l'essai SST-PCULP-22-5



Figure 3.2-30 : Déchirure de la tôle suite à l'essai SST-PCULP-22-5

Tableau 3.2-15 : Résistance élastique et ultime : essais SST-PCULP-22

	1	3	5	6	7	MOY.	CV
F_{ult} (N)	3623	3180	3418	4194	2288	3341	20.9%
u_{ult} (mm)	12.16	8.70	9.57	15.69	5.44	10.33	37.4%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	1505	1593	1450	2042	1233	1565	19.1%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	1.22	0.69	1.04	1.49	0.70	1.03	33.8%
k_{10-40} (kN/mm)	1.40	2.96	1.64	1.52	2.25	1.95	33.4%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	10.02	12.68	9.23	10.50	7.82	10.05	17.8%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	2.41	2.00	2.36	2.05	1.86	2.13	11.2%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	1300	1504	1230	1218	993	1249	14.7%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.61	0.52	0.48	0.39	0.43	0.49	17.8%
k_{5-15} (kN/mm)	2.79	4.08	3.72	4.98	3.56	3.83	20.8%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	19.97	16.89	19.98	40.13	12.77	21.95	48.2%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	2.79	2.11	2.78	3.44	2.30	2.69	19.2%

3.2.11. Série d'essais Rotho TBS 6x80 – 20

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai Rotho-TBS-6x80-20-6 est présentée à la Figure 3.2-31. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté purement élastique jusqu'à une valeur de résistance élastique évaluée à $F_{el,5\% 5-15} = 1393$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 5-15} = 1.12$ mm ou à $F_{el,5\% 10-40} = 2622$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 10-40} = 5.57$ mm. La valeur de résistance élastique évaluée entre 10 % et 40% de la charge ultime est au-delà de la zone élastique de l'essai. Suite à ce déplacement, le comportement a commencé à s'adoucir

progressivement à mesure qu'une rotule plastique dans la vis près de l'interface entre le bois et le pontage a été initiée. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre au-dessus de la rotule plastique. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode D selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1); 2) ensuite, l'acier de la tôle en contact avec la vis s'est mis à se plastifier à cause d'une pression diamétrale excessive à un déplacement de 4 mm et une charge de 2300 N. Le changement de comportement est nettement visible sur la courbe à cet endroit. Le changement de comportement est nettement visible sur la courbe à cet endroit. Par la suite, la charge a continué d'augmenter pendant que l'acier est en phase d'écrouissage du pontage par la tête du connecteur. La charge ultime de 5702 N a été atteinte à un déplacement de 22.83 mm; 3) suite à l'atteinte de la charge ultime, la charge a chuté brusquement lorsque l'acier autour de la vis s'est mis à se déchirer. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.11. Les Figure 3.2-32 et Figure 3.2-33 présentent des photos de la pièce de bois et de la tôle suite à cet essai de cette série. La Figure 3.2-32 présente la déformée finale de la vis, qui a nettement pivoté autour de sa rotule plastique en partie dû au premier mode de déformation élastique, mais aussi dû à une grande déformation plastique. La tôle d'acier déchirée est présentée à la Figure 3.2-33. Sur cette photo, la tôle d'acier présente une déchirure clairement observable. Un sommaire des résultats des essais est présenté aux Tableau 3.2-16 et Tableau 3.2-17. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

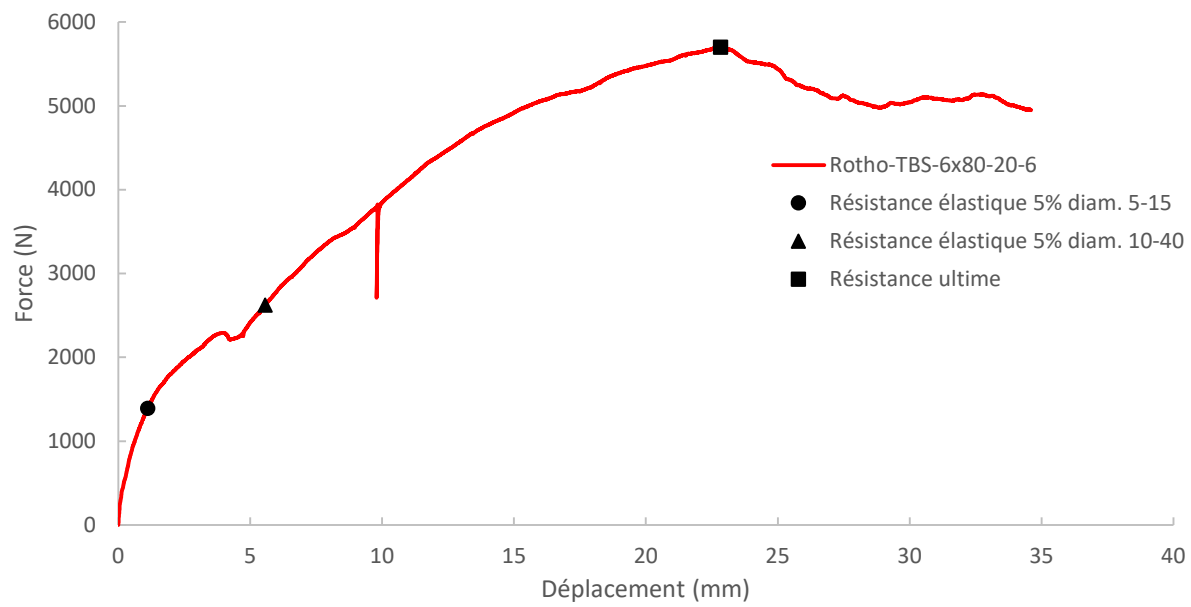


Figure 3.2-31 : Courbe force-déplacement typique : essai Rotho-TBS-6x80-20-6



Figure 3.2-32 : Section montrant le mode de rupture de l'essai Rotho-TBS-6x80-20-6

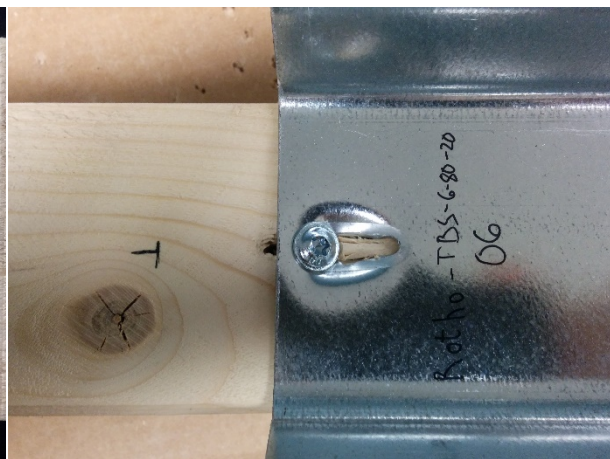


Figure 3.2-33 : Déchirure de la tôle suite à l'essai Rotho-TBS-6x80-20-6

Tableau 3.2-16 : Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-20-6

	1	2	3	4	5	6
F_{ult} (N)	4458	5919	4649	7317	7176	5702
u_{ult} (mm)	15.26	24.68	19.02	31.85	24.35	22.83
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	2714	3969	2006	5204	4739	2622
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	5.04	10.76	2.91	13.86	11.35	5.57
k_{10-40} (kN/mm)	0.55	0.37	0.73	0.38	0.42	0.48
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	3.03	2.29	6.54	2.30	2.14	4.10
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.64	1.49	2.32	1.41	1.51	2.17
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	1503	1632	1124	1678	1666	1393
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	1.16	1.74	0.62	1.51	1.50	1.12
k_{5-15} (kN/mm)	1.48	1.03	2.40	1.23	1.23	1.43
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	13.12	14.21	30.49	21.04	16.22	20.39
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	2.97	3.63	4.14	4.36	4.31	4.09

Tableau 3.2-17 : Suite Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-20-6

	7	8	9	10	11	MOY.	CV
F_{ult} (N)	4850	6534	6686	5666	4036	5727	19.6%
u_{ult} (mm)	26.12	22.72	21.40	30.86	18.73	23.44	21.3%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	2062	5447	3511	3197	1742	3383	38.7%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	4.76	12.92	5.53	7.26	1.95	7.45	55.1%
k_{10-40} (kN/mm)	0.45	0.43	0.65	0.45	0.97	0.54	34.1%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	5.48	1.76	3.87	4.25	9.62	4.13	57.0%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	2.35	1.20	1.90	1.77	2.32	1.83	22.6%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	1175	1476	1721	1527	1002	1445	17.0%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	1.08	1.58	1.82	1.10	0.42	1.24	35.6%
k_{5-15} (kN/mm)	1.26	1.03	1.03	1.60	3.66	1.58	50.2%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	24.20	14.37	11.78	28.03	44.38	21.66	45.0%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	4.13	4.43	3.88	3.71	4.03	3.97	10.5%

3.2.12. Série d'essais Rotho TBS 6x80 – 22

Une courbe force-déplacement typique enregistrée lors de l'essai Rotho-TBS-6x80-22-2 est présentée à la Figure 3.2-34. Le comportement mécanique de l'assemblage se décrit comme suit : 1) le comportement est resté purement élastique jusqu'à une valeur de résistance élastique évaluée à $F_{el,5\%} = 1112$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\%} = 0.72$ mm ou à $F_{el,5\% 10-40} = 1530$ N, correspondant à un déplacement $u_{el,5\% 10-40} = 1.62$ mm. La valeur de résistance élastique évaluée entre 10 % et 40% de la charge ultime est au-delà de la zone élastique de l'essai. Suite à ce déplacement, le comportement a commencé à s'adoucir progressivement à mesure qu'une rotule plastique dans la vis près de l'interface entre le bois et

le pontage a été initiée. La rotation de la vis a simultanément entraîné l'écrasement du bois en compression dans le sens de la fibre au-dessus de la rotule plastique. Le mode de rupture observé lors des essais est consistant avec celui prévu analytiquement, soit le mode D selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1); 2) ensuite, l'acier de la tôle en contact avec la vis s'est mis à se plastifier à cause d'une pression diamétrale excessive à un déplacement de 1.5 mm et une charge de 1500 N. Le changement de comportement est nettement visible sur la courbe à cet endroit. Par la suite, la charge a continué à augmenter pendant que l'acier est en phase d'écrouissage du pontage par la tête du connecteur. La charge ultime de 3399 N a été atteinte à un déplacement de 8.53 mm; 3) suite à l'atteinte de la charge ultime, la charge a chuté brusquement lorsque l'acier autour de la vis s'est mis à se déchirer. Les courbes force-déplacement correspondant aux essais de cette série sont présentées à l'Annexe B.12. À la Figure 3.2-35, l'état final de la vis présente une faible déformation plastique en rotation, conséquente avec le mode D attendu, mais aussi avec la résistance selon le mode A prévu analytiquement qui est près, 1237 N, de la valeur critique, 1106 N. Cela amène peu de déformation avant la déchirure de la tôle, présenté à la Figure 3.2-36. Sur cette photo, la tôle d'acier présente une déchirure clairement observable. Un sommaire des résultats des essais est présenté aux Tableau 3.2-18 et Tableau 3.2-19. Ces résultats sont analysés et comparés aux résultats des autres séries d'essais à la Section 3.3.

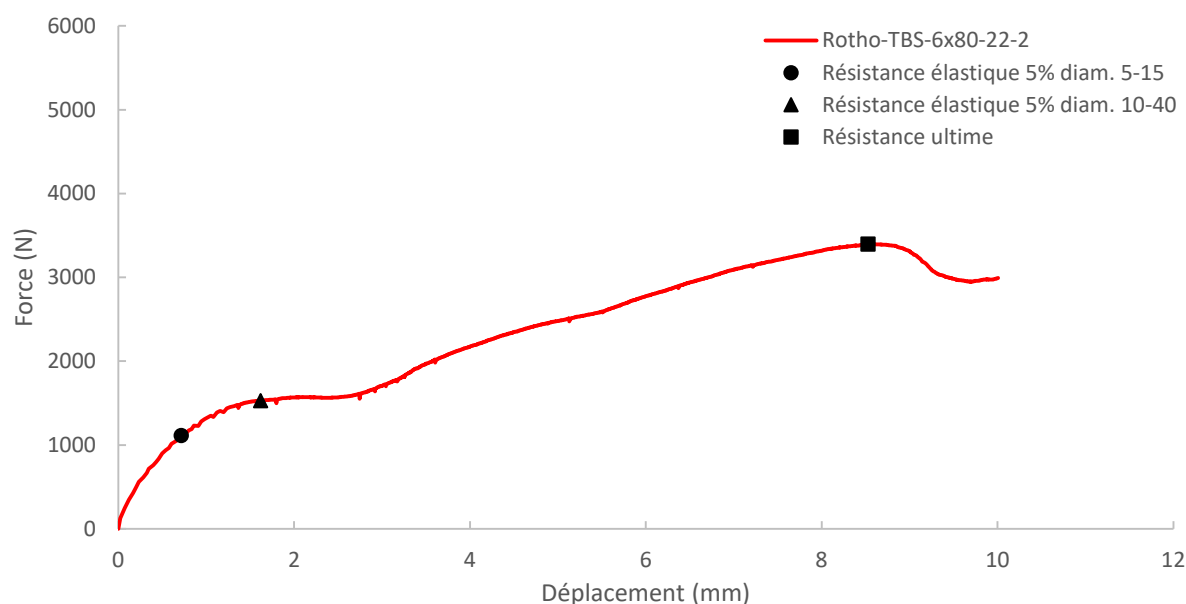


Figure 3.2-34 : Courbe force-déplacement typique : essai Rotho-TBS-6x80-22-2



Figure 3.2-35 : État de la vis suite à l'essai
Rotho-TBS-6x80-22-2

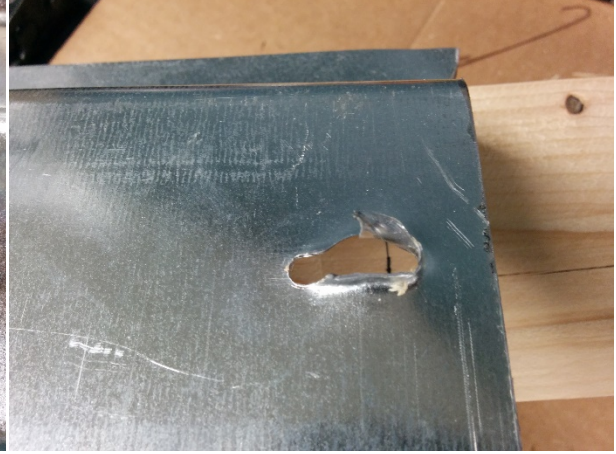


Figure 3.2-36 : Déchirure de la tôle suite à
l'essai Rotho-TBS-6x80-22-2

Tableau 3.2-18 : Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-22-2

	1	2	3	4	5	6
F_{ult} (N)	2080	3399	3422	2964	2997	3061
u_{ult} (mm)	8.40	8.53	7.08	9.49	10.41	11.89
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	1085	1530	1654	1280	1210	1506
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	1.23	1.62	1.26	2.53	1.49	1.11
k_{10-40} (kN/mm)	1.00	1.04	1.50	0.54	0.90	1.57
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	6.84	5.26	5.63	3.75	6.98	10.75
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.92	2.22	2.07	2.32	2.48	2.03
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	756	1112	1223	843	1003	1196
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.58	0.72	0.61	0.76	0.75	0.65
k_{5-15} (kN/mm)	1.76	1.95	2.65	1.38	1.68	2.37
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	14.61	11.91	11.56	12.53	13.98	18.26
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	2.75	3.06	2.80	3.52	2.99	2.56

Tableau 3.2-19 : Suite Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-22-2

	7	8	9	10	MOY.	CV
F_{ult} (N)	5234	4382	2751	4750	3504	28.0%
u_{ult} (mm)	15.29	17.23	25.91	27.43	14.17	51.6%
$F_{el,5\% 10-40}$ (N)	3908	2586	1427	3092	1928	49.0%
$u_{el,5\% 10-40}$ (mm)	8.38	5.05	1.28	8.69	3.26	92.5%
k_{10-40} (kN/mm)	0.48	0.53	1.26	0.36	0.92	47.4%
$\mu_{5\% 10-40}$ (mm/mm)	1.83	3.41	20.31	3.16	6.79	79.2%
$R_{5\% 10-40}$ (N/N)	1.34	1.69	1.93	1.54	1.95	18.0%
$F_{el,5\% 5-15}$ (N)	1291	1492	1231	1106	1125	19.2%
$u_{el,5\% 5-15}$ (mm)	0.68	1.10	0.93	0.83	0.76	20.7%
k_{5-15} (kN/mm)	2.41	1.58	1.57	1.62	1.90	22.7%
$\mu_{5\% 5-15}$ (mm/mm)	22.46	15.71	27.92	33.04	18.20	40.4%
$R_{5\% 5-15}$ (N/N)	4.05	2.94	2.23	4.29	3.12	20.8%

3.3. Comparaison des résultats expérimentaux

Cette section présente l'analyse des résultats expérimentaux. Elle présente : 1) les effets de la méthode d'analyse sur les résultats; 2) les résultats d'analyse de la résistance et de la rigidité des assemblages; 3) l'impact de la forme du connecteur sur la résistance et la rigidité et 4) la facilité d'installation du connecteur.

3.3.1. Résultats obtenus selon la méthode d'analyse

Résistance élastique selon la méthode d'analyse

Tel que mentionné à la Section 2.2.1, il existe différentes méthodes pour calculer la résistance élastique d'un assemblage. Considérant le caractère particulier de l'assemblage évalué, puisqu'il est un hybride entre de l'acier et du bois, trois méthodes ont été utilisées pour évaluer laquelle fournit les résultats les plus représentatifs de la réalité.

Tel qu'indiqué à la Section 3.1.4, suite à une pré-analyse des résultats, la méthode Y&K a été exclue d'office de l'analyse considérant les modifications majeures qui seraient nécessaires pour satisfaire une pente de rigidité initiale entre 5% et 15% de la charge ultime et la complexité qui serait liée à faire cette modification.

En analysant les résultats expérimentaux, il n'est pas certain que les méthodes utilisant la pente entre 5%-15% de la charge ultime doivent être utilisées pour tous les types de connecteurs. Le patron qui ressort est que pour les connecteurs ayant un mode de rupture de type F (Clou de toit, SST-HJ et SST-PCULP-20) selon la norme CSA O86-14 (voir Section 2.1.1), la plage 10% à 40% pour la méthode du 5% du diamètre estime bien la valeur de résistance élastique. Tandis que pour les connecteurs ayant un mode de rupture de type D (toutes les autres configurations d'essais) la plage 10%-40% pour la méthode du 5% du diamètre n'est pas appropriée, arrivant dans la phase d'écrouissage ou peu après, ce qui amène beaucoup de déformation.

En analysant les valeurs obtenues à partir des différentes méthodes, autant pour la résistance élastique, le déplacement, la ductilité ou la sur-résistance inélastique, les valeurs selon la méthode du CEN sont égales ou plus variables que celles utilisant la méthode du 5% du diamètre. Elle est beaucoup plus sensible à la forme de la courbe force-déplacement. Les détails de ces variations sont présentés à l'Annexe B.

Rigidité selon la méthode d'analyse

Tel que mentionné à la Section 2.1.4, il existe différentes méthodes pour calculer la rigidité d'un assemblage. Considérant le caractère particulier de l'assemblage évalué, deux méthodes ont été étudiées pour évaluer laquelle fournit les meilleurs résultats.

En analysant la valeur de rigidité obtenue selon chaque méthode, la méthode EN 26891 fournit nettement et systématiquement la valeur la plus élevée de rigidité, ensuite vient la méthode de la pente sécante entre 5% et 15% ou 10% et 40% de la charge ultime. Les données de cette analyse sont présentées pour chaque série à l'Annexe B. Leurs coefficients de variation se situent entre 20.8% et 62.8%.

Considérant que la méthode du 5% du diamètre pour le calcul de la résistance élastique a été retenue à la section précédente et que celle-ci utilise la droite sécante entre 5% et 15% ou entre 10% et 40% de la charge ultime pour le calcul de la résistance élastique, il est logique d'utiliser la même procédure pour le calcul de la rigidité. Par conséquent, c'est cette méthode d'évaluation de la rigidité qui a été retenue. La variabilité des rigidités, en général, est très grande pour chacune des méthodes.

3.3.2. Résistance et rigidité des assemblages

Résistance élastique des assemblages

Tel que discuté à la Section 2.1.3, les équations des articles 12.9.4 et 12.11.4 de la norme CSA O86-14 [4] sont utilisées pour le calcul de la résistance des assemblages. Le Tableau 3.3-1 présente les valeurs calculées selon la méthode de la norme CSA O86-14 [4] et le mode de rupture lui étant associé. Ces valeurs sont corrigées en fonctions de la distribution statistique, l'humidité relative et le temps d'application de la charge. Les valeurs des différents paramètres de corrections des résistances utilisés dans les équations des articles 12.9.4 et 12.11.4 sont :

- $K_D = 1.15$; pour corriger la durée d'application de la charge qui est rapide;
- $J_D = 1.0$; puisqu'il n'y a qu'un seul connecteur à la fois qui est testé;
- $G = 0.42$; considérant l'essence de bois utilisée;
- $\varphi = 1.0$; pour corriger à la valeur moyenne.

Les valeurs de résistance sont également multipliées par un facteur de $\frac{\rho_{12}}{\rho_0} = 0.89^{-1} = 1.12$ pour tenir compte de la différence d'humidité relative de 15 % à 12 %.

Les facteurs et propriétés non spécifiés sont ceux indiqués aux Sections 2.1 et 3.1.1.

Le Tableau 3.3-1 présente que pour toutes les vis, la résistance à l'arrachement est nettement plus grande que la résistance aux efforts latéraux. Par contre, le calcul de l'arrachement ne tient aucunement compte de la forme de la tête, seulement du diamètre extérieur. La résistance à l'arrachement du clou est plus faible, mais semble ne pas avoir eu d'impact sur le comportement de l'assemblage.

Tableau 3.3-1 : Valeurs de résistance élastique moyenne pondérée théorique selon CSA (kN)

	MODE CRITIQUE	LATÉRALE N_r	ARRACHEMENT P_r
CLOU 11-20	D	1.100	0.244
CLOU 11-22	D	1.033	0.245
ITW-R4-20	D	0.992	2.154
ITW-R4-22	D	0.936	2.154
ITW-RSS-20	D	0.979	1.895
ITW-RSS-22	D	0.924	1.895
SST-HJ-20	F	1.062	1.417
SST-HJ-22	F	1.003	1.417
SST-PCULP-20	F	0.979	1.279
SST-PCULP-22	F	0.925	1.279
ROTHO-TBS-6x80-20	D	1.384	2.018
ROTHO-TBS-6x80-22	D	1.316	2.018

Le Tableau 3.3-2 et la Figure 3.3-1 présentent les valeurs moyennes de résistance élastique obtenues expérimentalement avec la méthode de 5% du diamètre avec un calcul de rigidité sécante correspondant à 5%-15% de la charge ultime.

Tableau 3.3-2 : Valeurs de résistance élastique latérale moyenne (kN)

	MODE DE RUPTURE OBSERVÉ	5%-15%		10%-40%		CSA
		Valeur	CV*	Valeur	CV*	
CLOU 11-20	D	0.641	27.2%	0.789	20.0%	1.100
CLOU 11-22	D	0.507	24.0%	0.725	16.8%	1.033
ITW-R4-20	D	1.115	10.4%	1.952	7.6%	0.992
ITW-R4-22	D	1.072	6.8%	1.762	8.8%	0.936
ITW-RSS-20	D	1.312	19.2%	2.384	11.5%	0.979
ITW-RSS-22	D	1.304	6.4%	2.462	8.3%	0.924
SST-HJ-20	F	1.107	22.7%	1.799	14.1%	1.062
SST-HJ-22	F	1.033	9.1%	1.552	17.8%	1.003
SST-PCULP-20	F	1.294	13.4%	1.805	12.6%	0.979
SST-PCULP-22	D	1.249	14.7%	1.565	19.1%	0.925
ROTHO-TBS-6x80-20	D	1.445	17.0%	3.383	38.7%	1.384
ROTHO-TBS-6x80-22	D	1.125	19.2%	1.928	49.0%	1.316

* CV : coefficient de variation

Pour les douze types d'assemblages testés, deux modes de rupture ont été observés, soit les modes D et F présentés à la Section 2.1.1. Les valeurs de résistance expérimentales moyennes varient entre 0.507 kN et 1.445 kN. Ces valeurs correspondent respectivement aux séries d'essai CLOU 11-22 et Rotho-TBS-6x80-20. Dans l'ensemble, les valeurs de résistance moyenne obtenues pour les assemblages avec un pontage de type 20 sont supérieures à celles obtenues avec pontage de type 22, qui est moins épais.

La Figure 3.3-1 présente les valeurs théoriques moyennes calculées selon la méthode CSA. Elles sont plus près des valeurs mesurées avec la méthode de la pente sécante entre 5% et 15% que celle de la pente sécante entre 10% et 40%. Une exception est le clou où la méthode de la pente sécante entre 10% et 40% est celle qui est la plus près des valeurs théoriques.

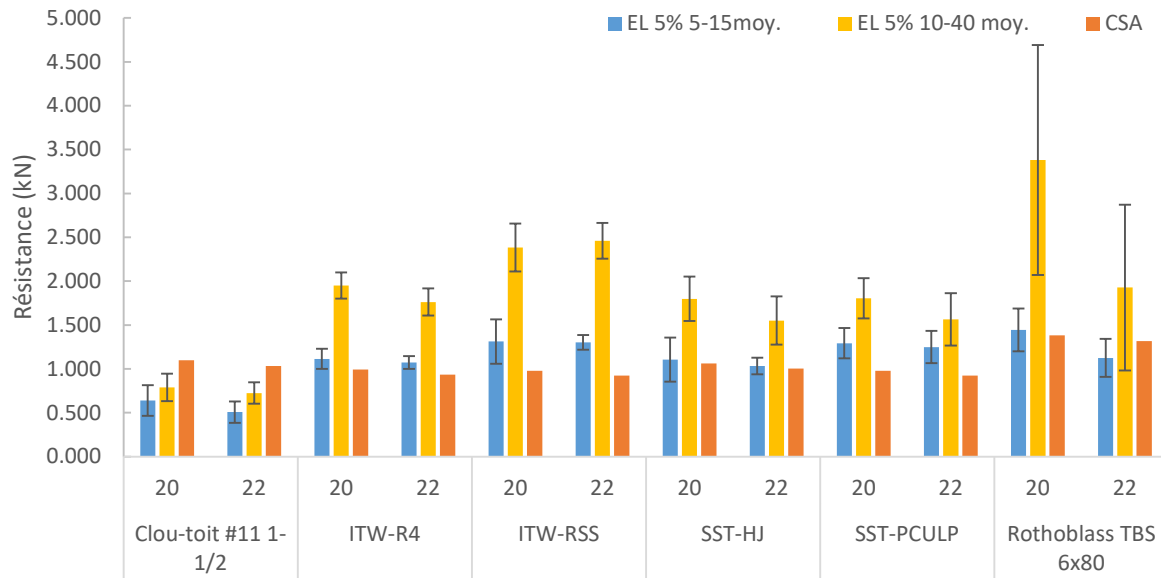


Figure 3.3-1 : Comparaison de la résistance des assemblages testés (kN)

Pour les deux séries utilisant le clou, les résistances obtenues expérimentalement sont inférieures à celles obtenues par calculs. Pour toutes les autres séries de connecteurs, les résultats expérimentaux obtenus avec la pente sécante entre 5% et 15% sont bien estimés ou un peu sous-estimés par les calculs théoriques. Considérant ceci, pour la suite de l'analyse, seulement les valeurs de résistance expérimentales élastique mesurées avec la pente sécante entre 5% et 15% seront utilisés pour toutes les vis, tandis que les valeurs de résistance élastique mesurées avec la pente sécante entre 10% et 40% seront utilisées dans les cas des clous.

Rigidité des assemblages

Les valeurs de rigidité mesurées expérimentalement sont présentées au Tableau 3.3-3 et à la Figure 3.3-2. La rigidité théorique a été évalué en utilisant les trois méthodes présentées à la Section 2.1.4. Les résultats de calcul sont présentés au Tableau 3.3-3. Pour la méthode MCA modifiée [1], la rigidité est une valeur constante égale à 876 N/mm. Pour la méthode de l'Eurocode 5 [10], la densité de l'élément de bois ρ_m est égale à 420 kg/m³. Le diamètre d est la valeur D_e indiquée au Tableau 3.1-2. Similairement, la valeur d_f de la méthode dérivée de la CSA est la valeur D_e indiquée au Tableau 3.1-2. Les valeurs théoriques selon l'Eurocode 5 et dérivées de la CSA sont des valeurs moyennes puisqu'elles sont basées sur des valeurs en service. Il n'est pas clair dans la littérature si la valeur de la MCA est aussi une valeur moyenne, mais il sera présumé que c'est le cas.

Tableau 3.3-3 : Valeurs de rigidité (kN/mm)

	MCA	EC5	CSA	MOY. 5-15		MOY. 10-40	
				Valeur	CV*	Valeur	CV*
CLOU 11-20	0.88	1.35	0.65	2.24	39.6%	0.91	42.9%
CLOU 11-22	0.88	1.35	0.65	2.29	60.4%	1.13	43.0%
ITW-R4-20	0.88	3.64	1.82	7.29	55.2%	1.62	31.6%
ITW-R4-22	0.88	3.64	1.82	8.76	61.2%	1.66	11.6%
ITW-RSS-20	0.88	3.65	1.82	2.68	46.0%	1.02	20.0%
ITW-RSS-22	0.88	3.65	1.82	5.73	51.8%	1.28	44.1%
SST-HJ-20	0.88	3.52	1.70	2.66	59.8%	1.33	52.7%
SST-HJ-22	0.88	3.52	1.70	2.31	27.9%	1.37	28.3%
SST-PCULP-20	0.88	3.67	1.85	6.25	48.4%	2.72	42.3%
SST-PCULP-22	0.88	3.67	1.85	3.83	20.8%	1.95	33.4%
ROTHO-TBS-6x80-20	0.88	4.49	2.77	1.58	50.2%	0.54	34.1%
ROTHO-TBS-6x80-22	0.88	4.49	2.77	1.90	22.7%	0.92	47.4%

* CV : coefficient de variation

La tendance claire présentée par la Figure 3.3-2 est que les méthodes de détermination de la rigidité utilisées par l'Eurocode 5 ou la méthode dérivée de la CSA semblent plus appropriées pour prédire la rigidité expérimentale que la méthode de MCA. Par contre, il est difficile de départir entre la méthode de l'Eurocode 5 et celle dérivée de la CSA laquelle prédit le mieux le comportement expérimental. Un facteur important qui contribue à la complexité est la grande variabilité des résultats expérimentaux obtenus. Un autre facteur est la grande différence entre les résultats expérimentaux en fonction de la méthode utilisée pour l'évaluer (la méthode de la pente sécante entre 5% et 15% et celle de la pente sécante entre 10% et 40%) Généralement, la pente sécante entre 10% et 40% est celle qui est la plus près des valeurs théoriques et entre les deux méthode théoriques, la méthode dérivée de la CSA est celle qui estime le plus systématiquement près des valeurs théoriques. Les deux séries de connecteurs qui ne suivent aucunement cette tendance sont les clous et les Rothoblass TBS 6x80. Pour les clous, c'est la méthode de l'Eurocode 5 qui prédit le mieux le comportement, malgré qu'originellement, la méthode de la CSA est spécifiquement conçue pour les clous. Dans le cas des vis Rothoblass TBS 6x80, les résultats expérimentaux sont nettement inférieurs aux valeurs estimées par les deux méthodes.

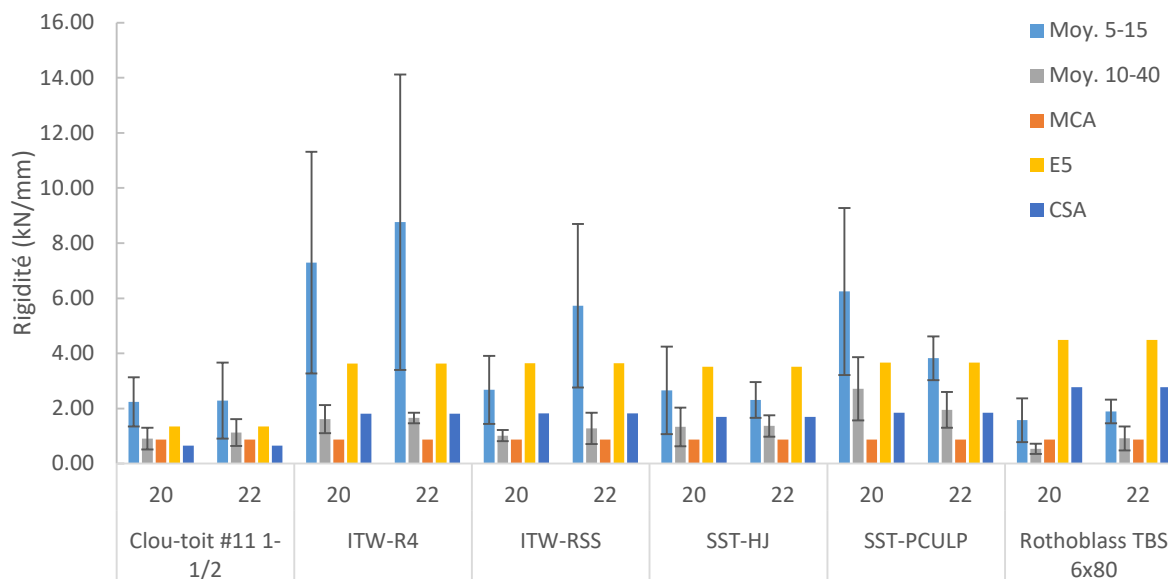


Figure 3.3-2 : Comparaison de la rigidité des assemblages testés (kN/mm)

Aucune tendance claire en lien avec le type de pontage ne ressort des rigidités expérimentales.

Considérant cette analyse, aucune méthode expérimentale n'évalue correctement la rigidité et il est difficile de départager les deux méthodes de calcul théorique. Puisqu'il est plus conservateur d'utiliser une petite rigidité, la méthode théorique dérivée de la CSA sera donc utilisée pour la suite de l'analyse pour la valeur théorique. Pour ce qui est de la méthode d'analyse expérimentale, il serait logique d'utiliser la méthode de la pente sécante entre 10% et 40% puisqu'elle conduit à des valeurs généralement plus petites, donc plus conservatrices, mais c'est la méthode de la pente sécante entre 5% et 15% qui est recommandée dans la section précédente pour le calcul de la résistance élastique. Considérant la variabilité importante des valeurs de rigidité comparativement à celle des résistances élastiques, il est donc préférable d'utiliser, pour l'analyse des rigidités, les valeurs mesurées avec la méthode de la pente sécante entre 5% et 15% pour toutes les vis et les valeurs mesurées avec la pente sécante entre 10% et 40% pour les clous.

Conception à la capacité

Dans une conception à la capacité, tel qu'utilisée dans la norme CSA O86-14 [4] pour le calcul d'un diaphragme, la surcapacité R , la ductilité μ et le déplacement à la charge ultime u_{ult} sont des mesures importantes. Le Tableau 3.3-4 présente les résultats associés à chaque série pour la méthode d'évaluation retenue précédemment pour le calcul de la résistance élastique latérale.

Tableau 3.3-4 : Valeurs de surcapacité, de ductilité et de déplacement à l'ultime expérimentale

	R (kN/kN)		μ (mm/mm)		u_{ult} (mm)	
	Valeur	CV*	Valeur	CV*	Valeur	CV*
CLOU 11-20	1.69	10.0%	7.64	40.5%	5.52	46.9%
CLOU 11-22	1.65	15.5%	6.76	47.9%	6.43	70.8%
ITW-R4-20	3.61	7.2%	37.55	35.5%	12.03	7.1%
ITW-R4-22	3.25	3.2%	41.52	53.7%	11.48	28.1%
ITW-RSS-20	4.03	18.9%	26.20	48.6%	16.39	17.3%
ITW-RSS-22	4.00	14.7%	34.87	32.6%	13.68	9.0%
SST-HJ-20	3.16	21.5%	19.20	36.8%	11.61	21.2%
SST-HJ-22	2.88	19.5%	22.00	31.5%	13.00	20.8%
SST-PCULP-20	2.71	16.3%	24.40	43.0%	9.36	31.3%
SST-PCULP-22	2.69	19.2%	21.95	48.2%	10.33	37.4%
ROTHO-TBS-6x80-20	3.97	10.5%	21.66	45.0%	23.44	21.3%
ROTHO-TBS-6x80-22	3.12	20.8%	18.20	40.4%	14.17	51.6%

* CV : coefficient de variation

Selon pente 5%-15% de Ultime pour les vis, 10%-40% pour les clous

Une tendance visible parmi les trois propriétés est que les séries utilisant les clous sont moins performantes que celles utilisant les vis. Les coefficients de variabilité sont du même ordre de grandeur pour toutes les séries pour une même propriété. La surcapacité est de l'ordre de 3 fois la résistance élastique pour les vis, 1.7 fois pour les clous. La ductilité est d'environ 26 fois le déplacement correspondant à l'atteinte de la charge élastique, 7 fois pour les clous. Le déplacement à l'ultime est de l'ordre de 13.5 mm pour les vis et de 6 pour les clous.

3.3.3. Résistance et rigidité des assemblages selon la forme du connecteur

Pour déterminer quel connecteur fournit la meilleure performance mécanique dans les assemblages, les connecteurs ont été séparés selon deux catégories pour qu'ils soient comparés entre connecteurs semblables. Il y a deux caractéristiques principales qui distinguent les assemblages les uns des autres : 1) le type du pontage (épaisseur), et 2) la longueur des connecteurs. L'effet du type de pontage a été analysé à la Section 3.3.2. La longueur du connecteur influence directement le mode de rupture, la résistance élastique, la résistance ultime et la rigidité des assemblages. Ce fait est clairement mis en évidence dans les équations de la Section 2.1.1. Les connecteurs étudiés dans cette recherche ont été classés en deux catégories de longueur, soit : celle de 38.1 mm (1.5 po) et celle de 76.2 mm (3 po). Il est à noter que les

diamètres des connecteurs étudiés sont très similaires, c'est pourquoi cette caractéristique ne constitue pas un paramètre de comparaison intéressant pour cette recherche. Un autre élément à évaluer est la forme de la tête de la vis en lien avec la résistance à l'arrachement et au poinçonnement. Elles peuvent être mises dans deux catégories, soit conique (ITW R4, SST PCULP), ou plate (Clou de toit, ITW RSS, SST HJ, ROTHO TBS 6x80). Chaque type de tête est présent pour chaque catégorie de longueur.

Résistance élastique selon la forme du connecteur

Le Tableau 3.3-5 présente les valeurs moyennes de résistance élastique évaluées selon la méthode du « 5% du diamètre ». Les résistances ultimes des assemblages sont présentées au Tableau 3.3-6.

Tableau 3.3-5 : Valeurs de résistance élastique moyenne triées en fonction de la longueur des connecteurs (kN).

LONGUEUR	PONTAGE	CONNECTEUR	ÉLASTIQUE MOY.	CV *
38.1 mm	20	CLOU TOIT 11	0.789	20.0%
		SST-HJ	1.107	22.7%
		SST-PCULP	1.294	13.4%
	22	CLOU TOIT 11	0.725	16.8%
		SST-HJ	1.033	9.1%
		SST-PCULP	1.249	14.7%
76.2 mm	20	ITW-R4	1.115	10.4%
		ITW-RSS	1.312	19.2%
		ROTHO-TBS-6x80	1.445	17.0%
	22	ITW-R4	1.072	6.8%
		ITW-RSS	1.304	6.4%
		ROTHO -TBS-6x80	1.125	19.2%

* CV : coefficient de variation

Selon pente 5%-15% de l'ultime pour les vis, 10%-40% pour les clous

Tableau 3.3-6 : Valeurs de résistance ultime moyenne triées en fonction de la longueur des connecteurs (kN).

LONGUEUR	PONTAGE	CONNECTEUR	ULTIME MOY.	CV *
38.1 mm	20	CLOU TOIT 11	1.325	18.5%
		SST-HJ	3.368	12.4%
		SST-PCULP	3.468	14.1%
	22	CLOU TOIT 11	1.182	17.6%
		SST-HJ	2.942	14.1%
		SST-PCULP	3.341	20.9%
76.2 mm	20	ITW-R4	4.002	6.7%
		ITW-RSS	5.160	8.6%
		ROTHO-TBS-6x80	5.727	19.6%
	22	ITW-R4	3.486	8.1%
		ITW-RSS	5.178	9.9%
		ROTHO -TBS-6x80	3.504	28.0%

* CV : coefficient de variation

Selon pente 5%-15% de l'ultime pour les vis, 10%-40% pour les clous

Connecteurs de longueur 38.1 mm

Les connecteurs de cette catégorie sont le clou ainsi que les vis de type SST. Les données au Tableau 3.3-5 permettent de constater que le clou, comparativement aux deux vis, a une plus petite résistance élastique. Le connecteur SST-PCULP a mieux performé que le SST-HJ pour les deux types de pontages, mais la différence est très petite. Par contre, SST-PCULP-22 a présenté un comportement non anticipé en développant le mode de rupture de type D au lieu de celui de type F. La Figure 3.3-3 présente les courbes force-déplacement des essais correspondants à leur valeur respective de résistance élastique médiane, où on observe que le comportement mécanique des assemblages SST-HJ-20, SST-HJ-22, CLOU TOIT 11-20 et CLOU TOIT 11-22 sont très similaires tout au long de l'essai dans leur forme. La charge maximale atteinte par le connecteur de type clou est près de la moitié de celles des vis. En comparant les résultats théorique des connecteurs, il est clair que le mode de rupture élastique est de type F : Rotation du connecteur par l'écrasement partiel des pièces principale et latérales. L'arrachement en tension du connecteur de la membrure principale après une forte rotation et compression du bois caractérisent la rupture à l'ultime. Le comportement des séries SST-PCULP-20 et SST-PCULP-22 est très différent des trois autres assemblages, puisqu'il y a

un plateau plastique après la limite de résistance élastique. Son comportement est davantage similaire à ceux observés pour les connecteurs ayant une longueur de 76.2 mm (Figure 3.3-4).

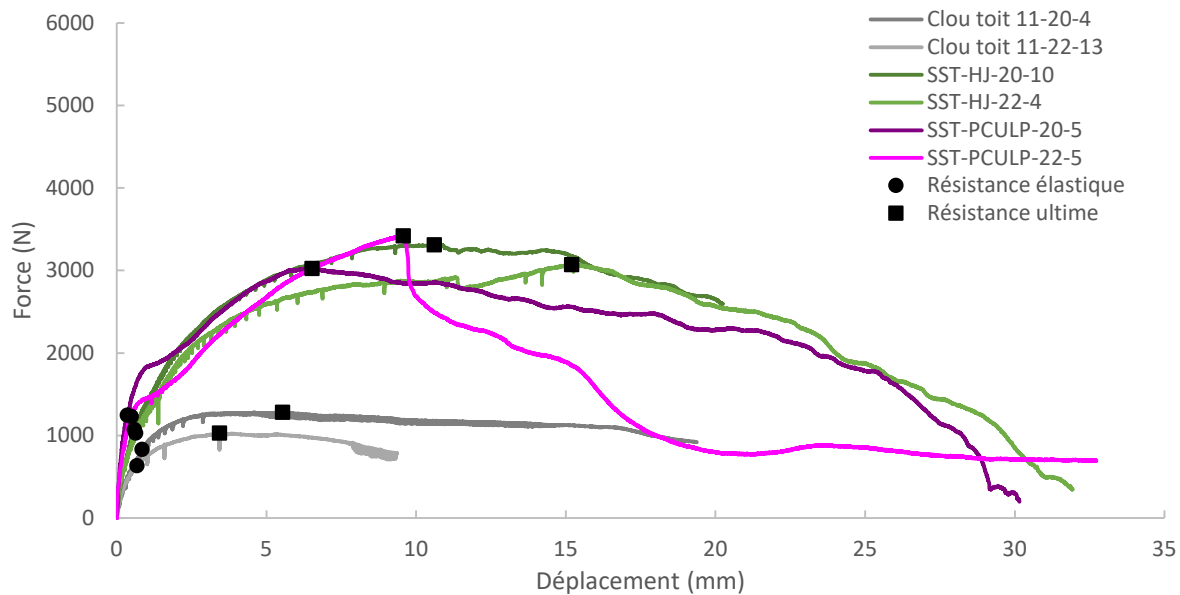


Figure 3.3-3 : Courbes force-déplacement des essais correspondant à la valeur médiane de résistance élastique pour les connecteurs de 38.1 mm

La forme de la tête du connecteur semble avoir eu un impact sur le comportement des connecteurs considérant la différence de comportement entre les vis SST-PCULP et les autres connecteurs. Considérant que la seule différence notable entre les vis SST-HJ et SST-PCULP est la tête fraisée de forme conique, il est raisonnable de croire que celle-ci est la cause de la différence de comportement. Autant le calcul de la résistance latérale théorique que le calcul de l'arrachement ne tiennent pas compte de la différence de la forme du connecteur. Il est recommandé dans les tests standardisés d'avoir une rondelle d'acier entre le connecteur et la membrure, pour éviter le comportement en arrachement et l'effet de la forme de la tête. Par contre, considérant le temps requis à l'installation que serait l'ajout d'une rondelle unitaire pour chaque vis, il faut que celle-ci soit pleinement intégrée au connecteur, comme par exemple la vis SST-HJ avec sa tête plate ainsi que sont joint d'EPDM à l'interface entre la tête et la membrure. Cette composante est fortement recommandée pour l'application étudiée dans cette recherche.

À partir des résultats présentés au Tableau 3.3-5, pour la catégorie des connecteurs de longueur 38.1 mm, on constate que c'est le connecteur de type SST-PCULP qui a le mieux performé en

terme de résistance élastique, suivi de très près par le connecteur de type SST-HJ. Le clou a de loin présenté la plus faible résistance élastique d'assemblage.

Connecteurs de longueur 76.2 mm

Les trois connecteurs dans la catégorie 76.2 mm sont ceux de type ITW et Rothoblaas. Les données du Tableau 3.3-5 permettent de constater que le connecteur Rotho-TBS-6x80 a mieux performé que les connecteurs ITW en terme de résistance élastique pour le pontage de type 20, mais le connecteur ITW-RSS a mieux performé pour le pontage de type 22. La moins bonne performance du connecteur ITW-R4 est en grande partie attribuable la forme de sa tête. La tête fraisée de forme conique du connecteur ITW-R4 génère des contraintes radiales lorsqu'enfoncée mécaniquement dans le pontage métallique, ce qui a pour effet de pré-endommager la connexion, favorisant le déchirement et des comportements liés à l'arrachement. Cet aspect n'est pas pris en compte dans le calcul de la résistance théorique en cisaillement ou en arrachement de l'assemblage. La tête des connecteurs ITW-RSS et Rotho-TBS-x80 est plate, et ne crée pas de contraintes radiales dans le pontage d'acier lors de son enfoncement. Ces têtes se rapprochent beaucoup de l'intégration d'une rondelle à une vis. La Figure 3.3-4 présente les courbes force-déplacement des essais correspondants à leurs valeurs respectives de résistance élastique médiane pour les connecteurs de 76.2 mm. À la Figure 3.3-4, on observe que les assemblages ont des comportements très similaires à partir du début de l'essai jusqu'à un déplacement d'environ 3 mm. Ensuite, leurs comportements diffèrent un peu avant la rupture.

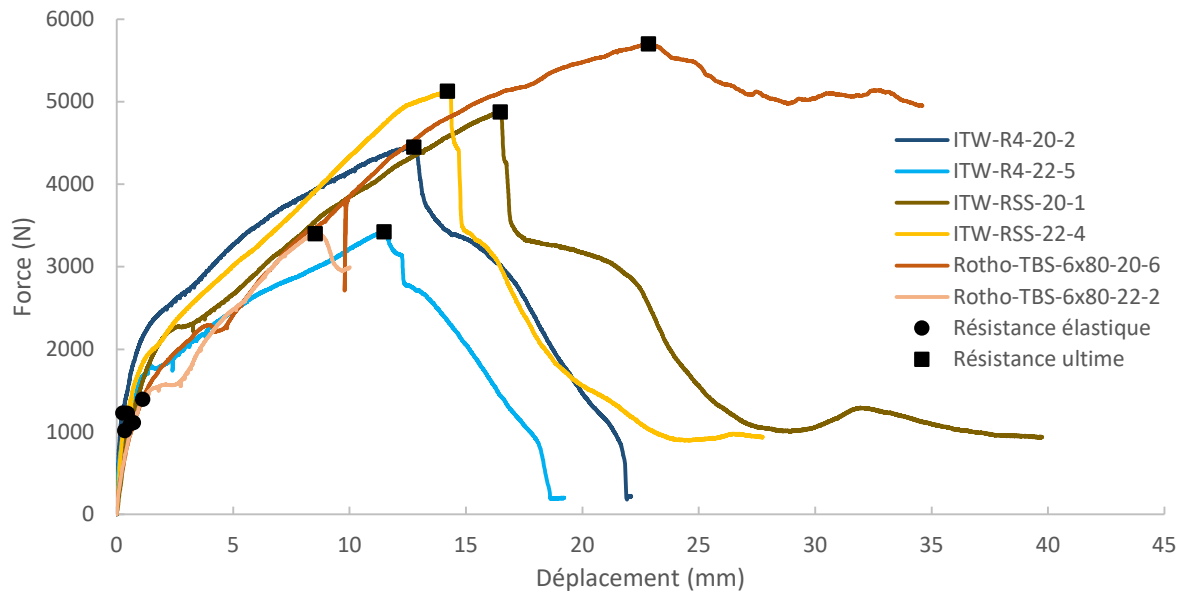


Figure 3.3-4 : Courbes force-déplacement des essais correspondant à la valeur médiane de résistance élastique pour les connecteurs de 76.2 mm

À partir des résultats présentés au Tableau 3.3-5, pour la catégorie des connecteurs de longueur 76.1 mm, on observe que les trois types de connecteurs offrent à peu près le même niveau de résistance élastique. Par contre, les connecteurs de type ITW-RSS et Rotho-TBS-6x80 offrent généralement une résistance ultime supérieure à celle des connecteurs de type ITW-R4.

Rigidité selon la forme du connecteur

La variabilité des valeurs expérimentales des rigidités mesurées est importante. Le Tableau 3.3-7 présente les valeurs de rigidité expérimentales moyennes sécantes entre 5% et 15% de la charge ultime pour les vis et entre 10% et 40% de la charge ultime pour les clous. L'analyse est très dépendante de cette prémisse. L'ordre de grandeur est principalement affecté, mais la relation entre les différentes séries est généralement conservée.

Tableau 3.3-7 : Valeurs de rigidité élastique triées en fonction de la longueur des connecteurs (kN/mm)

LONGUEUR	PONTAGE	CONNECTEUR	RIGIDITÉ MOY.	CV. *
38.1 mm	20	CLOU TOIT 11	0.91	42.9%
		SST-HJ	2.66	59.8%
		SST-PCULP	6.25	48.4%
	22	CLOU TOIT 11	1.13	43.0%
		SST-HJ	2.31	27.9%
		SST-PCULP	3.83	20.8%
76.2 mm	20	ITW-R4	7.29	59.8%
		ITW-RSS	2.68	46.0%
		ROTHO-TBS-6x80	1.58	50.2%
	22	ITW-R4	8.76	61.2%
		ITW-RSS	5.73	51.8%
		ROTHO -TBS-6x80	1.90	22.7%

* CV : coefficient de variation

Selon pente 5%-15% de l'ultime pour les vis, 10%-40% pour les clous

Connecteurs de longueur 38.1 mm

Les données du Tableau 3.3-7 permettent de constater que les assemblages avec des connecteurs de type SST-PCULP présentent une rigidité supérieure aux assemblages avec des connecteurs de type SST-HJ, peu importe l'épaisseur de pontage. Le clou, quant à lui, conduit à des assemblages moins rigides comparativement aux vis. La Figure 3.3-5 présente les courbes force-déplacement des essais correspondants à leur valeur respective de rigidité élastique moyenne. Pour les deux vis, les rigidités associées au pontage de type 20 sont plus rigides que ceux de type 22. Le contraire arrive pour les clous. En se basant sur les équations théoriques, les deux rigidités devraient être de même valeur. Considérant les grands coefficients de variabilité, il est possible que ce soit le cas.

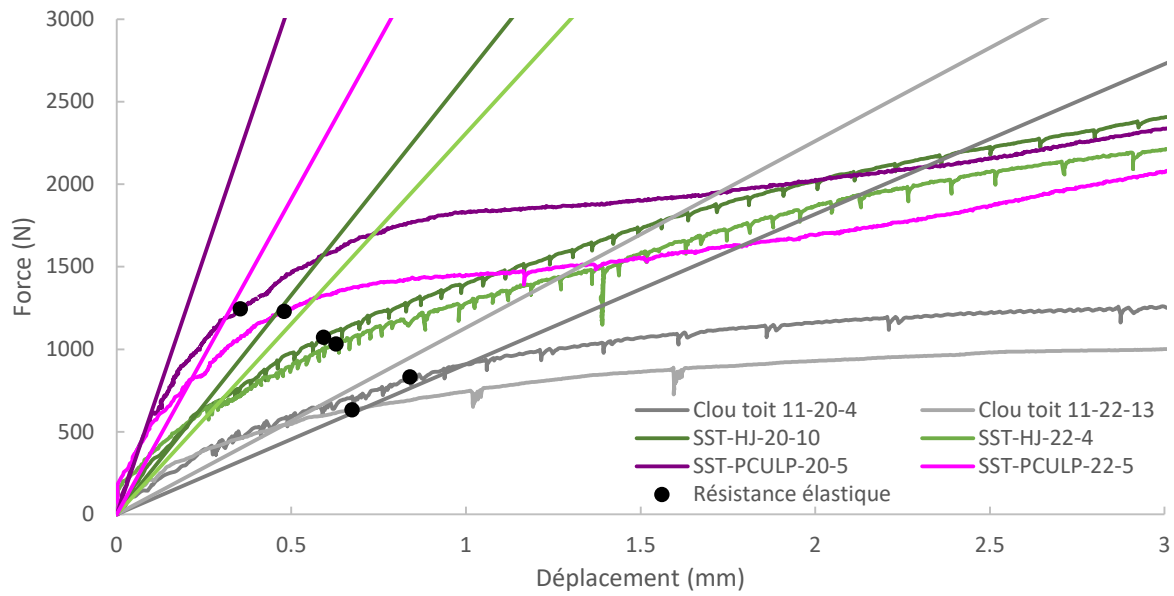


Figure 3.3-5 : Courbes force-déplacement et rigidité des essais correspondant à la valeur médiane de rigidité élastique pour les connecteurs de 38.1 mm

Connecteurs de longueur 76.2 mm

Les trois connecteurs de cette catégorie sont de type ITW et Rothoblaas. Les données au Tableau 3.3-7 permettent de constater que le connecteur de type ITW-R4 a mieux performé en terme de rigidité que le connecteur de type ITW-RSS et celui-ci mieux que le Rotho-TBS-6x80, peu importe l'épaisseur du pontage. La Figure 3.3-6 présente les courbes force-déplacement des essais correspondants à leur valeur respective de rigidité élastique moyenne pour les connecteurs de 76.2 mm. Les rigidités associées au pontage de type 22 sont plus rigides que ceux de type 20. En se basant sur les équations théoriques, les deux rigidités devraient être de même valeur. Considérant les grands coefficients de variabilité, il est possible que ce soit le cas.

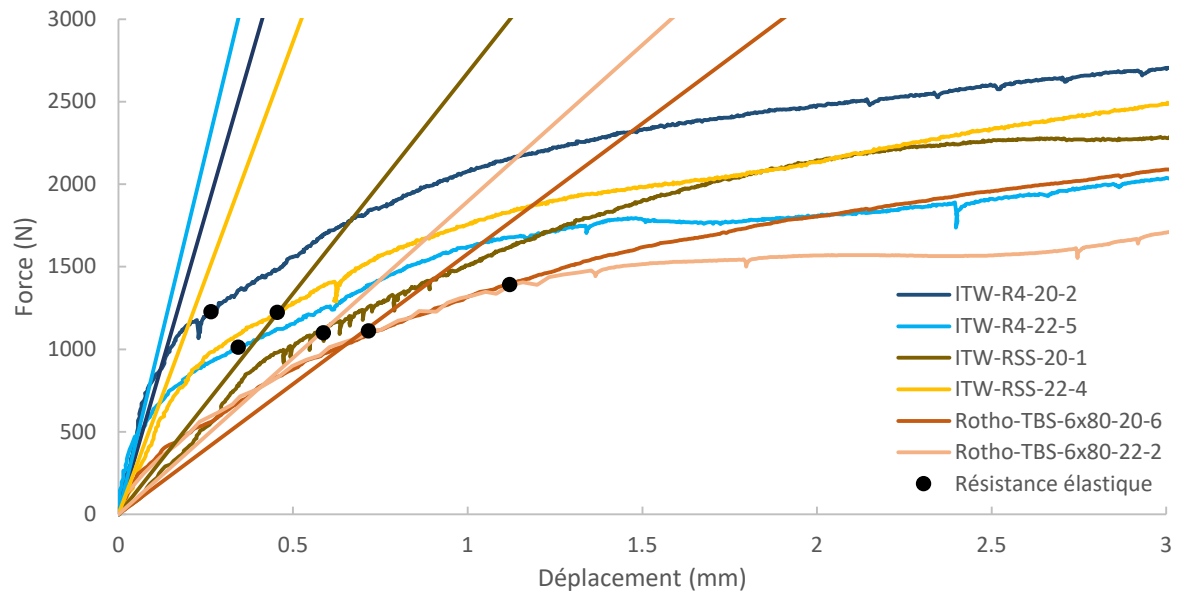


Figure 3.3-6 : Courbes force-déplacement et rigidité des essais correspondant à la valeur médiane de rigidité élastique pour les connecteurs de 76.2 mm

3.3.4. Facilité d'installation des connecteurs

Lors de la préparation des assemblages en vue du programme expérimental, la facilité d'installation a été essentiellement la même pour tous les connecteurs. Chaque type de connecteur étudié a été en mesure de percer le pontage métallique sans la nécessité de pré-percer le pontage, à l'exception du connecteur Rotho-TBS-6x80, qui a nécessité un pré-perçage pour les deux types de pontage. Dans le cadre de la présente étude, les pontages testés sont relativement minces. Par contre, si l'épaisseur du pontage est augmentée, il n'est pas certain que les connecteurs seront en mesure de le percer directement. Le clou a été le plus facile à faire pénétrer dans l'amalgame bois-acier. Les vis ITW et Rothoblass ne semblent pas pouvoir être installées à l'aide d'une visseuse automatique, contrairement aux vis SST qui offrent cette possibilité.

3.4. Conclusions

Cette recherche a pour but de déterminer un connecteur optimal pour joindre un pontage métallique léger de toiture, à une charpente de bois. Différents connecteurs ont été testés dans des assemblages acier-bois afin de faire ressortir ceux qui offrent les meilleurs comportements mécaniques. Dans le but d'évaluer adéquatement la résistance et la rigidité des assemblages testés, les résultats obtenus selon plusieurs méthodes d'analyse ont été comparés afin de déterminer la méthode la plus adaptée aux types de connexions testées. La résistance latérale des connecteurs, mesurée expérimentalement, a été comparée aux valeurs prédites par la norme CSA O86-14 [4]. La rigidité des connecteurs, mesurée expérimentalement, a également été comparée aux valeurs prédites par la norme CSA O86-14 [4], l'Eurocode 5 [10] et MCA modifiée [1].

Sur la base des observations faites dans ce chapitre, les recommandations et conclusions suivantes ont pu être énoncées :

- Pour déterminer la résistance élastique des assemblages, la méthode du « 5% du diamètre » s'est avérée la plus juste et la plus constante vis-à-vis des résultats expérimentaux. Après de nombreuses analyses, la prise en compte d'une rigidité initiale sécante entre 5% et 15% de la charge ultime a été recommandée pour le calcul de la résistance élastique des vis tandis que celle prise entre 10% et 40% de la charge ultime est plus adaptée pour les clous;
- La forme de la tête des connecteurs ainsi que leurs longueurs affectent la résistance élastique et le comportement plastique de façon importante. Une tête plate au lieu d'une tête de forme conique est recommandée afin d'éviter l'amplification des contraintes radiales causées par le cône à de hautes charges ainsi que l'introduction de phénomène lié à l'arrachement. L'ajout d'une rondelle pourrait aussi limiter ce phénomène, par contre celle-ci devrait être intégrée au système d'installation pour ne pas ralentir le temps d'installation;
- Deux modes de rupture élastique ont été observés, soit les modes D et F présentés à la Section 2.1.1. Le mode D survient dans le cas de connecteurs courts (38.1 mm) et le mode F dans le cas des connecteurs long (76.2 mm);

- La forme des pointes des connecteurs étudiés est adéquate pour percer des pontages de type 22 et 20, sauf pour la vis Rothoblaas qui n'a pas été capable de percer les pontages. Un pré-perçage a été nécessaire. La capacité des connecteurs étudiés à percer des pontages plus épais devrait être déterminée expérimentalement. Il serait également intéressant d'étudier la possibilité d'utiliser des vis à pointes aptes à percer le métal qui pourraient faciliter la mise en place des connecteurs;
- Dans la catégorie des connecteurs de 38.1 mm de longueur, les connecteurs de type vis SST ont mieux performés en terme de résistance élastique. Les assemblages avec les clous ont de loin présentés les plus faibles résistances élastiques. Dans la catégorie des connecteurs de 76.1 mm de longueur, on observe que les trois types de connecteurs testés offrent à peu près le même niveau de résistance élastique. Dans l'ensemble, tous les connecteurs ont performé de manière similaire à celle attendue par la méthode de CSA;
- Sur la base des résultats expérimentaux, voici les trois connecteurs qui se sont le plus démarqués :
 - Le clou de pontage #11 1½" : malgré qu'il ait présenté les moins bonnes performances, il a été le plus facile à installer et il représente probablement la solution la plus économique;
 - La vis SST-HJ 1½" : dans la catégorie des connecteurs de 38.1 mm (1½ po) de longueur, ce connecteur a très bien performé et son mode de rupture a toujours été anticipé avec justesse. La tête plate incorporant un joint d'EPDM est un ajout très intéressant et permet de réduire les effets de poinçonnement de la tête dans le pontage, observés avec la vis SST-PCULP. De plus, puisque ces connecteurs sont distribués sous forme de languettes collées, il est très facile de les installer efficacement dans le cas de volumes importants ;
 - La vis Rothoblaas TBS-6x80 : malgré la meilleure constance des résultats du connecteur ITW-RSS dans la catégorie des connecteurs de 76.1 mm (1½ po) de longueur, le connecteur Rothoblaas TBS-6x80 obtient des résistances et des rigidités similaires. Sa rigidité est la plus petite, mais elle est du même ordre de grandeur que les deux autres. Par contre, les vis ITW sont nettement plus coûteuses que la vis Rothoblaas, critère important pour l'analyse économique ;

- Tel qu'indiqué dans la revue de littérature à la Section 2.1.3, la méthode de dimensionnement proposée dans la MCA modifiée [1] pour le calcul de la résistance élastique est désuète. Il serait avisé de remplacer dans la méthode MCA modifiée [1] le calcul de la résistance élastique du connecteur Q_f par la procédure de conception connue sous l'appellation *European Yield Model* utilisée par la norme CSA O86-14 [4] (articles 12.9.4 pour les clous et 12.11.4 pour les vis) ainsi que la NDS 2015 [9]. Les résultats expérimentaux confirment le besoin d'une méthode de calcul théorique incluant un plus grand nombre de mode de rupture, principalement ceux liés aux connecteurs eux-mêmes;
- En ce qui concerne la rigidité des assemblages, la valeur théorique obtenue par la méthode dérivée de la norme CSA O86-14 [4], calculée à la Section 2.1.4, et la méthode de l'Eurocode 5 [10] sont toutes les deux plus appropriées pour déterminer la valeur constante proposée dans la MCA modifiée [1]. Par contre, entre ces deux méthodes, il n'est pas clair laquelle est préférable pour évaluer la rigidité. Ceci est dû à la grande variabilité des résultats expérimentaux empêchant de déterminer une pente sécante (5%-15% ou 10%-40%) descriptive du comportement. Plus de recherche pour raffiner ce sujet est recommandé.

4. CONCEPTION D'UN DIAPHRAGME EN ACIER

Les bases théoriques du calcul de diaphragmes composés d'un pontage métallique et d'une charpente en bois sont bien détaillées dans la littérature. La même méthode est présente dans les références de l'article Aguilera [1], le manuel produit par la *Metal Construction Association* (MCA) [2] et le catalogue de diaphragme de CANAM [27]. Elles sont toutes basées sur le manuel de calcul du diaphragme de la *Steel Deck Institute* (SDI-DDM04) [3]. Cette méthode a été choisie parce qu'elle est celle la plus largement utilisée et acceptée, mais également parce que c'est celle utilisée par la compagnie CANAM.

Ce chapitre évalue dans le détail l'application de la méthodologie du *Steel Deck Institute* (SDI-DDM04) [3] spécifiquement dans le cadre d'un diaphragme acier-bois.

Pour permettre un point de comparaison avec les diaphragmes de pontage d'acier sur charpentes d'acier, les mêmes types de configurations de diaphragme utilisés dans le catalogue de diaphragme de CANAM [27] sont évalués pour valider les outils de calcul développés dans le cadre de ce projet de recherche.

4.1. Comparaison entre les diaphragmes acier-acier et acier-bois

Pour comparer la résistance et la rigidité d'un diaphragme composé d'un pontage métallique et d'une charpente en bois à celle d'un diaphragme composé d'un pontage métallique et d'une charpente métallique, un chiffrier de calcul basé sur la méthode de calcul de la résistance et de la rigidité du diaphragme du manuel SDI-DDM04 [3] telle qu'identifiée à la Section 2.3 a été développé. Celui-ci limite les propriétés évaluées à celles retenues dans le Chapitre 3. Les paramètres d'entrée pour le calcul sont :

- l'origine des données (théorique ou expérimentale);
- le type de panneau et son épaisseur (CANAM P-3606-20 ou CANAM P-3606-22);
- les propriétés de la section de diaphragme considérées (longueur de panneau, distance entre poutre, nombre de portées);

- les propriétés de la section de poutres et poutrelles en bois sous le diaphragme (longueur et largeur de section, essence de bois);
- la configuration des connecteurs en bout (type de connecteur, patron d'assemblage);
- la configuration des connecteurs intérieurs (type de connecteur, patron d'assemblage);
- la configuration des joints latéraux de base (type de connecteur, espacement);
- la configuration des joints latéraux sur poutre (type de connecteur, espacement, nombre).

4.1.1. Configurations des d'assemblages

Des patrons d'assemblages normalisés, des joints latéraux spécifiques et des portées entre poutrelles spécifiques seront utilisés pour faciliter la comparaison et l'intégration des résultats des tableaux de calcul des diaphragmes acier-bois à ceux publiés dans le catalogue de CANAM [27].

Une configuration d'assemblage dépend largement de la position des différents connecteurs. Un patron d'assemblage est la séquence d'installation des connecteurs pour une ligne de poutrelle pour une largeur de panneau. Il définit la position de chaque connecteur nécessaire au calcul dans la méthode du SDI-DDM04 [3]. Dans le catalogue de CANAM [27] pour les pontages évalués, il existe quatre patrons d'assemblage : 36/4, 36/7, 36/9 et 36/11, présentés à la Figure 4.1-1. Les points représentent chacun des connecteurs installés pour cette position. Ils sont représentés par la largeur du panneau, soit 36 pieds et par le nombre de connecteurs sur cette largeur, soit 4, 7, 9 ou 11 connecteurs.

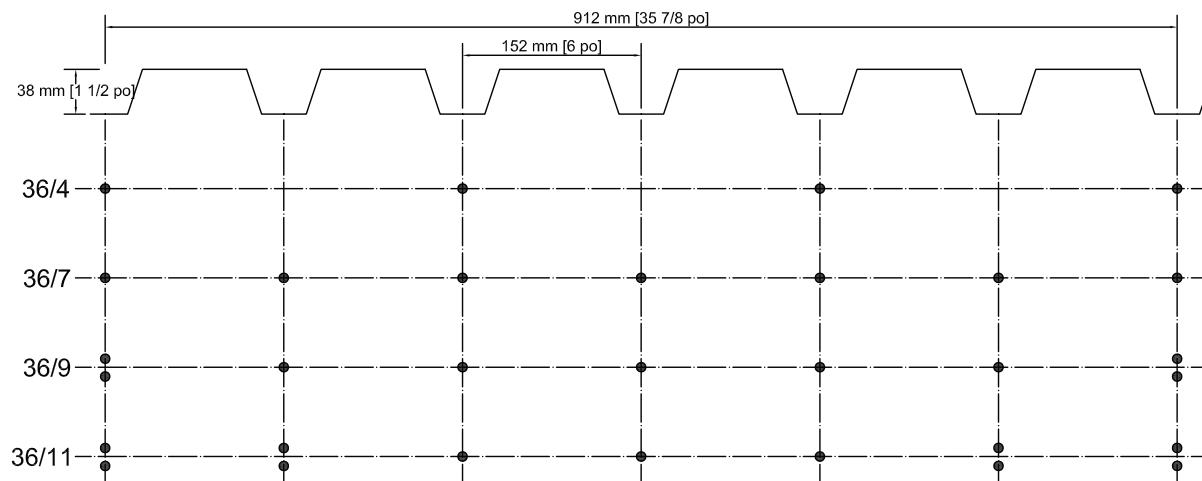


Figure 4.1-1 : Patrons d'assemblage existants

Les joints latéraux sont situés à l'interface entre deux feuilles de pontage et assurent l'union entre celles-ci. Ils sont définis par les types de connecteurs et l'espacement entre ceux-ci. Dans le catalogue de CANAM [27] pour les pontages évalués, les espacements retenues sont : 900, 600, 300, 230 et 150 mm.

Les portées entre poutrelles utilisées dans le catalogue de CANAM [27] pour les pontages évalués sont : 2400, 2250, 2100, 1950, 1800, 1650, 1500, 1350, 1200, 1050 et 900 mm.

La Figure 4.1-2 présente le diagramme général d'un diaphragme ainsi que les points où chaque composante influence la conception.

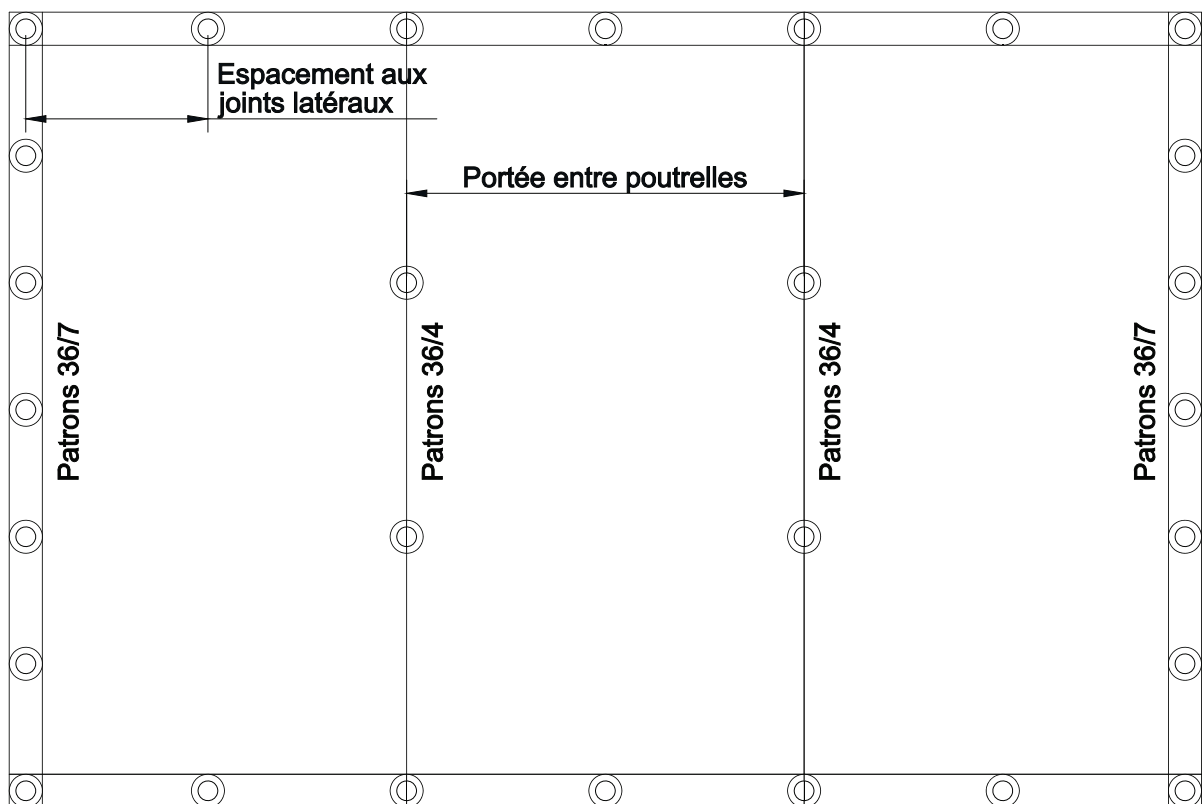


Figure 4.1-2 : Diagramme général d'un diaphragme

4.1.2. Calcul de résistance

Il est nécessaire pour le calcul de la résistance en cisaillement du diaphragme d'avoir la résistance en cisaillement des connecteurs utilisés. Pour une configuration donnée, les valeurs de Q_{fp} , Q_{fe} et Q_{sp} , telles qu'identifiées à la Section 2.3.1 sont déterminées par la valeur théorique calculée par la méthode de la norme CSA O86-14 [4], reproduites au Tableau 4.1-1.

Dans le cadre de cette analyse, l'essence de bois utilisée est un lamellé-collé de grade VF-24F-1.8E, décrit dans le supplément de la norme NDS [32] avec une densité relative G de 0.5. La raison de l'utilisation de ce grade est afin d'uniformiser la recherche avec le bâtiment type utilisé pour l'analyse économique à la Section 5.1.2 où ce grade est utilisé. Il est à noter que les facteurs suivants sont utilisés : $K_D = 1.15$ puisque l'on veut calculer des charge de courte durée et $J_D = 1.3$ pour tous les connecteurs, tel que relevé à la Section 2.1.1.

Tableau 4.1-1 : Résistance pondérée en cisaillement du connecteur principal (kN)

CONNECTEUR	TYPE 20	TYPE 22
CLOU TOIT 11	0.861	0.814
SST-HJ	1.103	1.049
ROTHO-TBS-6x80	1.424	1.360

Aux joints latéraux, les connecteurs évalués sont les mêmes que ceux qui sont présentés dans le catalogue de CANAM [27] puisqu'il n'y a pas de différence de conception entre les configurations acier-acier et acier-bois. Les valeurs de Q_{sb} utilisées, telles qu'identifiées à la Section 3.3.2, sont les valeurs théoriques du catalogue de CANAM [27] et sont reproduites au Tableau 4.1-2.

Tableau 4.1-2 : Résistance pondérée en cisaillement du connecteur aux joints latéraux (kN) [27]

CONNECTEUR AU JOINT	FACTEUR DE PONDÉRATION	RÉSISTANCE SELON ÉPAISSEUR DE PONTAGE	
		Type 20	Type 22
Vis no 10	0.50	1.74	1.45
Vis no 12	0.50	1.93	1.61

Les valeurs de contrainte ultime d'acier utilisées sont la valeur théorique selon la norme CSA O86-14 [4], soit 345 MPa, telle que présentée à la Section 3.1.1. Comme les tables présentées à l'Annexe C sont de même valeurs et ceci permet donc une comparaison.

4.1.3. Calcul de rigidité

Le mode de déformation du diaphragme en flexion n'est pas dépendant de la configuration de l'assemblage des connecteurs reliant le diaphragme aux poutres de rives et aux poutrelles du bâtiment à condition que la résistance au cisaillement du diaphragme soit suffisante. Pour le mode de déformation en cisaillement, la seule variable dépendant de la configuration du pontage est la rigidité du diaphragme G' .

Il est nécessaire pour le calcul de la rigidité du diaphragme d'avoir la rigidité en cisaillement des connecteurs utilisés. Pour une configuration, la valeur de k_f est déterminée par la valeur théorique déterminée par la méthode dérivée de la norme CSA O86-14 [4]. Les résultats par connecteurs sont présentés au Tableau 4.1-3.

Tableau 4.1-3 : Rigidité pondérée en cisaillement du connecteur principal (kN)

CONNECTEUR	RIGIDITÉ (kN/mm)
CLOU TOIT 11	0.65
SST-HJ	1.70
ROTHO-TBS-6x80	2.77

Pour la valeur de k_s telle qu'identifiée à la Section 2.3.2, il existe une valeur théorique calculée à partir de l'épaisseur du pontage utilisé. Les résultats pour les pontages évalués sont présentés au Tableau 4.1-4.

Tableau 4.1-4 : Rigidité du connecteur latéral au joint

PONTAGE	RIGIDITÉ (kN/mm)
CANAM P-3606-20	11.05
CANAM P-3606-22	10.12

Pour le calcul de la rigidité d'une configuration, la valeur de D telle qu'identifiée à la Section 2.3.2, résulte d'un calcul dépendant de la forme spécifique du pontage, de l'épaisseur et du patron d'assemblage. L'impact d'un patron d'assemblage sert uniquement à déterminer combien de vallées du pontage sont occupées par au moins un connecteur. Considérant que tous les patrons d'assemblage des toitures acier-bois occupent toutes les vallées, sauf dans le cas du patron 36/4, les valeurs de D sont toujours les mêmes. CANAM fourni les valeurs de D

suivantes, présentées au Tableau 4.1-5, pour les pontages évalués (Voir Annexe C). Ces valeurs ont été confirmées par calcul avec la méthode décrite dans la norme ANSI S310-16 à l'Annexe I [33].

Tableau 4.1-5 : Valeurs de D pour patrons d'assemblage existants en fonction du pontage pour calcul en SI

PATRON	36/4	36/7	36/9	36/11
CANAM P-3606-22	245.17	29.06	29.06	29.06
CANAM P-3606-20	189.25	22.44	22.44	22.44

4.1.4. Validation du chiffrier de calcul

Pour valider le chiffrier de calcul, les configurations des assemblages acier-acier de CANAM, présentés à l'Annexe C, ont été introduites dans celui-ci. Ces configurations sont une mise à jour des résultats fournis dans le catalogue de diaphragme de CANAM [27] en tenant compte d'un changement de valeur des coefficients de tenue (changé de 0.5 pour tous les modes de rupture, à des valeurs variant entre 0.55 et 0.75 en fonction du mode de rupture), de la résistance élastique du pontage (changé de 230 MPa (33 ksi) à 275 MPa (40 ksi) pour la contrainte élastique), ainsi que du type de connecteur communément utilisé (changé de Hilti X-EDN19 à Hilti X-HSN24). Ces tableaux ont été calculés et fournis par un ingénieur chez CANAM spécifiquement pour le projet de recherche. Les résistances pondérées des connecteurs principaux ont été fournies par CANAM et sont présentées au Tableau 4.1-6.

Tableau 4.1-6 : Résistance pondérée en cisaillement du connecteur principal pour assemblage acier-acier

PONTAGE	RÉSISTANCE (kN)
CANAM P-3606-20	8.00
CANAM P-3606-22	6.74

La rigidité des assemblages acier-acier est déterminée par l'équation suivante :

$$k_f = \frac{1000\sqrt{E}}{36} \text{ (kN/mm)} \quad (4-1)$$

où :

t est l'épaisseur du pontage (mm)

Considérant ceci, les rigidités des pontages utilisées sont présentées au Tableau 4.1-7.

Tableau 4.1-7 : Rigidité pondérée pour assemblage acier-acier

PONTAGE	RIGIDITÉ (kN/mm)
CANAM P-3606-20	26.484
CANAM P-3606-22	24.248

La résistance et la rigidité des connecteurs aux joints latéraux restent les mêmes pour les assemblages acier-acier que celles présentées aux Section 4.1.2 et 4.1.3.

Les paramètres du chiffrier de calcul pour des configurations acier-acier sont :

- profil de tablier CANAM P-3606 – 40 ksi (275 MPa);
- type de pontage : calibre 20 et 22;
- connecteur principal Hilti X-HSN-24;
- connecteur latéral : Vis de connecteur latéral no. 12;
- patron d'assemblage : 36/4, 36/7, 36/9 et 36/11;
- espacement aux joints latéraux : 900, 600, 300 et 150 mm;
- portée entre poutrelles : 2100, 1950, 1800, 1650, 1500, 1350, 1200, 1050 et 900 mm;
- le patron de connecteur en bout de feuille est le même que celui intérieur;
- le connecteur en bout de feuille est le même que celui intérieur;
- le calcul s'effectue pour une résistance sur 4 portées;
- le coefficient de tenue est 0.55 pour tous les états limites sauf en flambement hors-plan qui est de 0.75 (tel que proposé dans SDI DDM04 [3] p. 2-13);
- l'espacement entre les connecteurs latéraux sur poutre est le même que ceux intérieurs.

Les tables de calcul obtenues ont les mêmes résultats de résistance et de rigidité que ceux de CANAM (Voir Annexe C). Ceci valide donc l'exactitude des résultats issus du chiffrier.

4.1.5. Production des tables de calcul pour diaphragme acier-bois

En conservant des paramètres similaires à ceux utilisés dans les tables de calcul de diaphragme acier-acier produites par CANAM, des tables de calcul pour les diaphragmes acier-bois ont été générées.

Les paramètres du chiffrier de calcul pour les configurations acier-bois sont :

- profil de tablier CANAM P-3606 – 40 ksi (275 MPa);
- type de pontage : calibre 20 et 22;
- connecteurs principaux : Clou à toit #11, Simpsons's Strong Tie HJ et Rothoblaas TBS 6x80;
- essence du bois des poutres et poutrelles : GL VF-24F-1.8E, $G = 0.5$;
- facteur de correction de l'assemblage acier-bois : $K_D = 1.15$ et $J_D = 1.3$
- pièce de bois au moins égale ou plus large que 125 mm
- connecteur latéral : Vis de connecteur latéral no. 12;
- patron d'assemblage : 36/4, 36/7, 36/9 et 36/11;
- espacement aux joints latéraux : 900, 600, 300, 230 et 150 mm;
- portée entre poutrelles : 2400, 2250, 2100, 1950, 1800, 1650, 1500, 1350, 1200, 1050 et 900 mm;
- le patron de connecteur en bout de feuille est le même que celui intérieur;
- le connecteur en bout de feuille est le même que celui intérieur;
- le calcul s'effectue pour une résistance sur 4 portées;
- le coefficient de tenue est 0.55 pour tous les états limites sauf en flambement hors-plan qui est de 0.75 (tel que proposé dans SDI DDM04 [3] p. 2-13);
- l'espacement entre les connecteurs latéraux sur poutre est le même que ceux intérieurs.

Un exemple d'une de ces tables est reproduit au Tableau 4.1-8. L'ensemble des tables de calcul pour les diverses configurations de conception se retrouve à l'Annexe D.

Les symboles utilisés dans les tables sont les suivants :

Q : résistance au cisaillement pondéré (N/mm);

G' : coefficient de rigidité (10^3 N/mm).

Facteur de contrôle (terminologie similaire à celle utilisée dans les tables de CANAM) :

E : connecteurs au périmètre (*Edge fasteners*);

I : connecteurs intérieurs (*Interior panel fasteners*);

C : connecteurs au coin (*Corner fasteners*);

P : flambement hors-plan du panneau (*Panel buckling*).

Tableau 4.1-8 : CANAM P 3606 20 - ROTHO TBS 6X80

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/4	900 mm c/c	Q G'	1.0 (C) 1.4	1.9 (C) 3.2	1.7 (E) 3.4	1.5 (E) 3.5	1.3 (E) 3.5	1.2 (E) 3.5	1.1 (E) 3.5	1.4 (E) 4.6	1.3 (E) 4.6	1.2 (E) 4.6	1.1 (E) 4.6
	600 mm c/c	Q G'	2.0 (C) 3.0	1.9 (C) 3.2	1.7 (E) 3.4	2.1 (E) 4.2	1.9 (E) 4.4	1.7 (E) 4.5	1.5 (E) 4.6	1.8 (E) 5.3	1.7 (E) 5.4	1.6 (E) 5.5	1.5 (E) 5.5
	300 mm c/c	Q G'	2.3 (C) 3.4	2.4 (C) 3.9	2.3 (C) 4.3	2.4 (C) 4.8	2.3 (C) 5.1	2.4 (C) 5.6	2.3 (C) 5.9	2.4 (C) 6.3	2.3 (C) 6.5	2.4 (C) 6.9	2.3 (C) 7.1
	230 mm c/c	Q G'	2.4 (C) 3.5	2.4 (C) 4.1	2.4 (C) 4.6	2.4 (C) 5.0	2.4 (C) 5.4	2.4 (C) 5.9	2.4 (C) 6.2	2.4 (C) 6.6	2.4 (C) 7.0	2.4 (C) 7.3	2.4 (C) 7.7
	150 mm c/c	Q G'	2.5 (C) 3.7	2.5 (C) 4.2	2.5 (C) 4.7	2.5 (C) 5.2	2.5 (C) 5.7	2.5 (C) 6.1	2.5 (C) 6.6	2.5 (C) 7.0	2.5 (C) 7.4	2.5 (C) 7.8	2.5 (C) 8.2
36/7	900 mm c/c	Q G'	1.6 (C) 3.0	2.6 (E) 8.1	2.2 (E) 7.6	2.0 (E) 7.1	1.8 (E) 6.7	1.6 (E) 6.2	1.5 (E) 5.9	1.8 (E) 8.6	1.6 (E) 8.2	1.5 (E) 7.8	1.4 (E) 7.5
	600 mm c/c	Q G'	3.0 (E) 8.7	2.6 (E) 8.1	2.2 (E) 7.6	2.6 (E) 10.4	2.3 (E) 9.9	2.1 (E) 9.5	1.9 (E) 9.0	2.2 (E) 11.0	2.0 (E) 10.6	1.9 (E) 10.2	1.7 (E) 9.8
	300 mm c/c	Q G'	3.9 (E) 11.7	4.1 (E) 13.4	3.5 (E) 13.1	3.7 (E) 14.5	3.3 (E) 14.2	3.5 (E) 15.3	3.2 (E) 14.9	3.4 (E) 15.9	3.1 (E) 15.5	3.2 (E) 16.4	3.0 (E) 16.0
	230 mm c/c	Q G'	4.4 (C) 13.5	4.5 (C) 14.9	4.5 (C) 16.0	4.3 (E) 15.8	4.4 (E) 16.8	4.5 (E) 17.6	4.1 (E) 17.3	4.2 (E) 18.0	4.2 (E) 18.6	3.9 (E) 18.3	4.0 (E) 18.9
	150 mm c/c	Q G'	4.7 (C) 15.7	4.7 (C) 16.8	4.8 (C) 17.7	4.8 (C) 18.5	4.8 (C) 19.2	4.8 (C) 19.8	4.8 (C) 20.4	4.8 (C) 20.9	4.8 (C) 21.3	4.8 (C) 21.7	4.8 (C) 22.0
36/9	900 mm c/c	Q G'	2.5 (C) 4.2	3.5 (E) 8.7	3.0 (E) 8.2	2.7 (E) 7.7	2.4 (E) 7.2	2.2 (E) 6.8	2.0 (E) 6.4	2.3 (E) 9.0	2.1 (E) 8.6	1.9 (E) 8.2	1.8 (E) 7.9
	600 mm c/c	Q G'	4.1 (C) 9.2	3.5 (E) 8.7	3.0 (E) 8.2	3.3 (E) 10.8	2.9 (E) 10.4	2.7 (E) 9.9	2.4 (E) 9.4	2.7 (E) 11.3	2.5 (E) 10.9	2.3 (E) 10.5	2.1 (E) 10.1
	300 mm c/c	Q G'	5.0 (E) 12.0	5.0 (E) 13.7	4.3 (E) 13.4	4.4 (E) 14.7	4.0 (E) 14.4	4.1 (E) 15.5	3.8 (E) 15.2	3.9 (E) 16.1	3.6 (E) 15.7	3.7 (E) 16.5	3.4 (E) 16.2
	230 mm c/c	Q G'	5.6 (C) 13.7	5.7 (C) 15.0	5.7 (E) 16.1	5.0 (E) 16.0	5.0 (E) 16.9	5.0 (E) 17.7	4.6 (E) 17.5	4.7 (E) 18.2	4.7 (E) 18.7	4.4 (E) 18.5	4.4 (E) 19.0
	150 mm c/c	Q G'	6.1 (C) 15.8	6.1 (C) 16.9	6.1 (C) 17.8	6.1 (C) 18.6	6.1 (C) 19.3	6.1 (C) 19.9	6.1 (C) 20.5	6.1 (C) 20.9	6.1 (C) 21.4	6.1 (C) 21.8	6.1 (E) 22.1

Tableau 4.1-8 : CANAM P 3606 20 - ROTHO TBS 6X80 (SUITE)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/11	900 mm c/c	Q	3.0 (C)	4.1 (E)	3.6 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.1 (E)
		G'	4.9	9.1	8.6	8.1	7.6	7.2	6.8	9.3	8.9	8.5	8.1
	600 mm c/c	Q	4.6 (C)	4.1 (E)	3.6 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)
		G'	9.6	9.1	8.6	11.1	10.6	10.2	9.7	11.6	11.1	10.7	10.3
	300 mm c/c	Q	5.7 (E)	5.6 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.4 (E)	4.5 (E)	4.1 (E)	4.2 (E)	3.9 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)
		G'	12.2	13.8	13.6	14.9	14.6	15.6	15.3	16.2	15.9	16.7	16.3
	230 mm c/c	Q	6.5 (C)	6.3 (E)	6.2 (E)	5.5 (E)	5.5 (E)	5.4 (E)	5.0 (E)	5.0 (E)	5.0 (E)	4.7 (E)	4.7 (E)
		G'	13.9	15.2	16.2	16.1	17.0	17.8	17.6	18.2	18.8	18.6	19.1
	150 mm c/c	Q	7.4 (C)	7.4 (C)	7.4 (C)	7.2 (E)	7.0 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	6.6 (E)	6.5 (E)	6.4 (E)	6.3 (E)
		G'	15.8	17.0	17.9	18.7	19.4	20.0	20.5	21.0	21.4	21.8	22.2

4.1.6. Comparaison diaphragmes acier-bois vs acier-acier

En comparant les résistances et les rigidités des diaphragmes acier-bois présentés au Tableau 4.1-8 avec les résistances et les rigidités de diaphragmes équivalents acier-acier tels que calculé par CANAM¹ présentés à l'Annexe CD, on constate que les résistances obtenues pour un diaphragme acier-bois varie entre 0.6 et 7.4 N/mm comparativement à entre 4.3 et 24.7 N/mm pour le diaphragme acier-acier. Les rigidités obtenues pour un diaphragme acier-bois varie entre 0.4 et 22.2 kN/mm comparativement à entre 3.4 à 23.9 kN/mm pour le diaphragme acier-acier.

Les résistances obtenues pour un diaphragme acier-bois sont généralement environ 4 fois plus petites que celles issues d'une configuration similaire correspondant à un diaphragme acier-acier. Cette différence est principalement due à la différence de résistance entre les deux types de connecteurs principaux, qui est de l'ordre de 5 à 9 fois plus petite que dans le cas des connexions acier-bois, tel que présenté aux Tableau 4.1-1 et Tableau 4.1-6. De plus, les modes de rupture prépondérants des diaphragmes diffèrent dans chacun des deux cas. Les résultats des analyses suggèrent qu'en général, les diaphragmes acier-bois distribuent en grande proportion les d'efforts dans les connecteurs des joints latéraux, ce qui favorise les modes de rupture sur le périmètre. Les diaphragmes acier-acier quant à eux tendent à distribuer les efforts de cisaillement vers les connecteurs principaux en plus grande proportion, ce qui favorise les modes de rupture intérieurs. Cela affecte la capacité de résistance maximale développée. Les deux types de diaphragme utilisent abondamment le mode de ruptures aux coins, étant donné la combinaison des efforts aux joints latéraux et aux connecteurs principaux. Dans le cas de pontages acier-bois, il faut passablement densifier le nombre de connecteurs intérieurs, ainsi que densifier les lignes de connecteurs aux joints latéraux pour obtenir des niveaux de résistance similaires.

Par contre, les rigidités obtenues selon les deux types d'assemblage sont toutes du même ordre pour des configurations similaires. Malgré la différence de rigidité entre les connecteurs selon le type de diaphragme, la rigidité intrinsèque de la feuille de pontage est tellement faible que le type de connecteurs a peu d'impact sur la rigidité globale.

¹ Calculé et fourni par CANAM spécifiquement pour le projet de recherche

4.2. Configurations supplémentaires

Dans le but d'augmenter la résistance des platelages acier-bois à des niveaux semblables à ceux des platelages acier-acier, les patrons de connecteurs typiquement utilisés dans la conception des platelages acier-acier ont été densifiés. Il est à noter que les portées de plus de 2400 mm ne seront pas évaluées dans les tableaux de l'Annexe D, principalement pour une raison de limitation d'espace, malgré qu'elles soient présentes dans les tableaux de l'Annexe C.

Patrons d'assemblages

Pour densifier les patrons d'assemblages, les dimensions des pièces de bois et du pontage ont été évaluées pour savoir si plus de deux connecteurs pouvaient entrer dans l'espace d'une vallée et d'une poutrelle. Les règles d'espacement minimal pour une connexion clouée ou vissée sont identiques dans la norme CSA O86-14 [4] et indiqués à l'article 12.9.2. Elles sont reproduites au Tableau 4.2-1.

Tableau 4.2-1 : Espacement minimum (nombre de diamètre de connecteur)

DIMENSION	DOUGLAS-MÉLÈZE, PRUCHE-SAPIN, THUYA GÉANT	ÉPINETTE-PIN-SAPIN, ESSENCES NORDIQUES
A- Espacement parallèle au grain	20	16
B- Distance au bout parallèle au grain	15	12
C- Espacement perpendiculaire au grain	10	8
D- Distance au bout perpendiculaire au grain	5	4

Considérant que les essais du Chapitre 3 ont été effectués sur de l'Épinette-Pin-Sapin (ÉPS), les dimensions de celui-ci seront utilisées pour l'évaluation. Considérant que le connecteur ayant le plus grand diamètre des trois connecteurs retenus à la Section 3.3 est la vis Rothoblaas TBS 6x80 avec un diamètre de 3.88 mm, elle sera celle qui définira la configuration. La largeur du fond d'une vallée du pontage P-3606 est de 38 mm. Considérant que les poutrelles sont généralement perpendiculaires à l'axe des vallées du pontage et que la direction du grain est dans le même axe que les poutrelles, la dimension A du Tableau 4.2-1 est égale à 62.08 mm, ce qui signifie qu'il ne peut y avoir qu'un seul connecteur dans la largeur d'une vallée de pontage.

Par contre, considérant que les poutrelles ont une largeur pour reprendre les efforts de flexion, si la poutrelle est égale ou plus large que 125 mm, elle peut accueillir jusqu'à 4 connecteurs en ligne dans la largeur de la poutrelle. Considérant ces informations, cinq nouveaux patrons d'assemblage sont créés : 36/13, 36/14, 36/18, 36/22 et 36/28. Ils sont présentés à la Figure 4.2-1. Il est à noter que la configuration des connecteurs en bout de feuille sur poutre, ou autres dispositions non régulières doivent être évaluées spécifiquement.

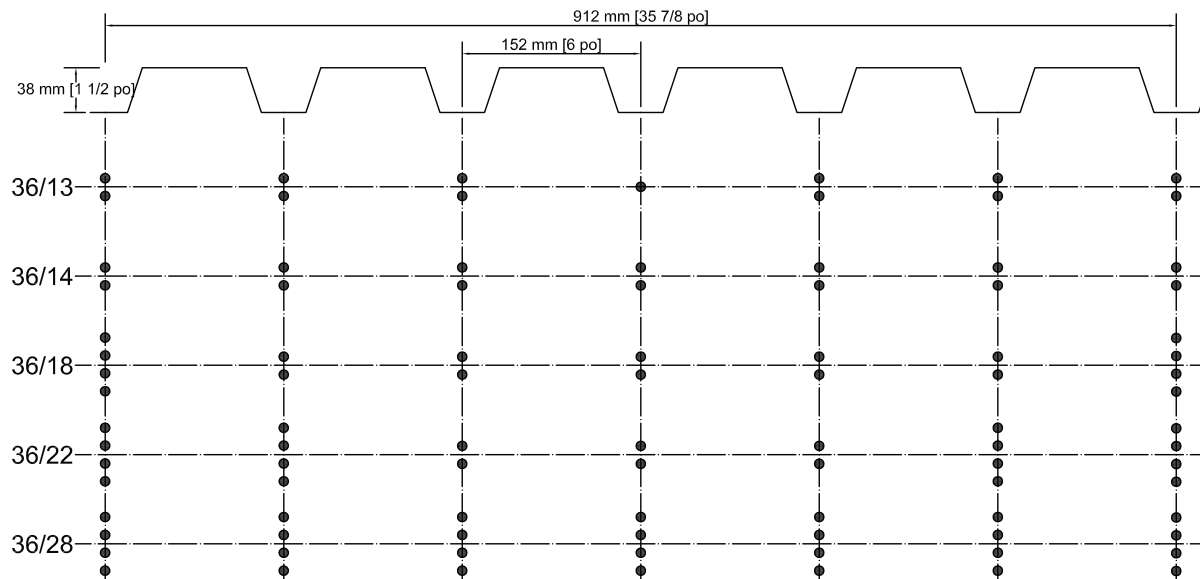


Figure 4.2-1 : Patrons d'assemblage supplémentaires

La valeur de D pour le calcul de la rigidité (Section 2.3.2) associée à ces cinq patrons est égale à celle pour les patrons où toutes les vallées sont occupées. Ces valeurs se retrouvent au Tableau 4.2-2. Elles ont été confirmées par calcul avec la méthode décrites dans la norme ANSI S310-16 à l'Appendix I [33].

Tableau 4.2-2 : Valeurs de D pour patron d'assemblage supplémentaires en fonction du pontage pour calcul en SI

PATRON	36/13	36/14	36/18	36/22	36/28
CANAM P-3606-22	29.06	29.06	29.06	29.06	29.06
CANAM P-3606-20	22.44	22.44	22.44	22.44	22.44

Jointts latéraux

Pour densifier les connecteurs aux jointts latéraux, il faut simplement réduire l'espacement entre chaque connecteur. Ces assemblages sont contrôlés par les règles de dimensionnement de connexions boulonnées présentées dans la norme d'acier CSA S16-09 [26] à l'article 22.3. Selon celui-ci, la distance minimale entre deux connecteurs doit être plus grande que 2.7 fois le diamètre du connecteur. Dans le cas des vis aux jointts latéraux no. 10 et no. 12, le plus grand des deux diamètres est de 5.3 mm pour la vis no. 12, ce qui indique un espacement minimal de 14.31 mm. Par contre, pour les jointts latéraux sur les poutres de bois, effectués avec les connecteurs évalués, l'espacement est contrôlé par le dimensionnement dans le bois, et est donc égal à 62.08 mm, tel que calculé précédemment. Considérant ces limitations, deux nouveaux espacements aux jointts latéraux sont ajoutés, soit 100 mm et 75 mm.

4.2.1. Comparaison des configurations densifiées

Ces nouvelles configurations permettent d'augmenter la résistance maximale développée pour la même combinaison d'éléments qu'au Tableau 4.1-8 à 18.2 N/mm pour un 36/28 à 900 mm de portée et 75 mm d'espacement aux jointts latéraux. Cela est encore plus petit que la résistance pour un diaphragme acier-acier de 24.7 N/mm pour une configuration de 36/11 à 900 mm de portée et 150 mm d'espacement aux jointts latéraux.

Tous les éléments supplémentaires mentionnés précédemment sont ajoutés pour créer de nouvelles configurations et sont présentés aux tables de calcul à l'Annexe D.

5. ANALYSE ÉCONOMIQUE

Le choix d'un connecteur lors de la conception d'une toiture de bâtiment ne dépend pas seulement des propriétés mécaniques de celui-ci, mais aussi de l'impact qu'aura ce choix sur le coût total du bâtiment. L'objectif principal de l'analyse économique est de déterminer, en fonction des propriétés mécaniques théoriques obtenues aux Chapitres 3 et 4, du coût d'achat des matériaux et de la main d'œuvre, la configuration de connecteurs la plus économique. Considérant que le coût unitaire d'un connecteur, la quantité de connecteurs requis dans un patron résistant, la facilité d'installation, le type de pontage et le temps de travail nécessaire sont différents pour un type de connecteur donné, il est nécessaire de comparer les diverses solutions possibles sur une base équivalente. Pour ce faire, le diaphragme de toit d'un bâtiment « typique » a été conçu selon différentes configurations en fonctions des connecteurs considérés dans cette étude.

5.1. Méthodologie

La méthodologie pour l'analyse économique est la suivante :

- concevoir des configurations de toiture optimales sur un bâtiment type avec le chiffrier développé au Chapitre 4;
- calculer le coût des matériaux et d'installation des configurations optimales en fonction du type de connecteur utilisé.

Pour évaluer la performance économique des différentes options, la somme du coût des matériaux de chacune des composantes ainsi que les coûts d'installation associés est divisée par la surface totale du bâtiment type. La configuration retenue correspond à celle qui est la moins coûteuse tout en résistant aux combinaisons de charges latérales appliquées selon le Code national du bâtiment du Canada [15]. Les aspects évalués sont : 1) la résistance à la combinaison de charges ultimes la plus critique et 2) la déformation horizontale la plus importante dans le plan du toit, correspondant aux charges de vents en service et aux charges sismiques à l'ultime.

5.1.1. Données économiques

Les données requises pour l'analyse économique proviennent des fabricants et des installateurs. Le Tableau 5.1-1 présente les prix des matériaux pour les composantes qui sont évaluées dans

l'analyse économique. Les connecteurs non retenus au Chapitre 3 sont exclus de la présente analyse.

Tableau 5.1-1 : Coût des matériaux

		COÛT	UNITÉ
Panneau	CANAM P-3606-22	13.175	\$/m ²
	CANAM P-3606-20	15.188	\$/m ²
	Clou à toit #11	0.5229	\$/100 unités
Connecteur principal	SST HJ	6.39	\$/100 unités
	Rothoblaas TBS 6x80	16.00	\$/100 unités
Connecteur aux joints lat.	Vis #10	5.382 *	\$/m ²
	Vis #12	5.382 *	\$/m ²

* : Le prix inclut le coût d'installation des panneaux et des joints latéraux.

Il est à noter que des vis #12 sont utilisées pour fixer les joints latéraux entre les feuilles de pontage métallique parce que ces vis sont plus résistantes que les vis #10 et ont toutes deux le même coût unitaire.

Le Tableau 5.1-2 présente la vitesse d'installation des connecteurs telle que fournie par un installateur partenaire de la compagnie Structure Fusion. Le temps d'installation peut varier d'un installateur à l'autre, mais les vitesses d'installation utilisée dans ce mémoire ont un ordre de grandeur considéré comme étant réaliste. Le taux horaire de la main d'œuvre d'installation des différents connecteurs est évalué à 80\$/h tel que fourni par un installateur partenaire de la compagnie Structure Fusion. Le même taux horaire est considéré pour le pré-perçage, si besoin il y a. La vitesse de pré-perçage considérée est de 240 trous par heure. La nécessité du pré-perçage est déterminée selon les conclusions de la Section 3.3.4. Le coût de location/achat d'outils pour permettre l'installation des connecteurs n'est pas inclus dans l'analyse, tenant pour acquis que l'installateur est responsable de ces frais.

Tableau 5.1-2 : Installation d'un connecteur principal

CONNECTEUR	VITESSE D'INSTALLATION (Nbr. /h)	PRÉ-PERÇAGE NÉCESSAIRE
Clou à toit #11	1800	Non
SST HJ	720	Non
Rotho TBS 6x80	240	Oui

5.1.2. Bâtiment type

Pour permettre de comparer les différentes conceptions, un bâtiment type a été sélectionné. Le bâtiment est situé dans la ville de Jonquière (Qc). Le bâtiment considéré dans les analyses est une version simplifiée du bâtiment original où les murs extérieurs dans la direction courte ont été considérés comme étant à angle droit par rapport à la direction longue. Le bâtiment considéré a donc une forme rectangulaire. Le plan de la toiture du bâtiment original est présenté à la Figure 5.1-1 et le plan modifié est présenté à la Figure 5.1-2. Le bâtiment comprend deux étages. Le deuxième étage est situé à une hauteur de 3.76 m par rapport au rez-de-chaussée (sol) et le toit est situé à une hauteur de 8.38 m par rapport au sol. Le bâtiment considéré dans l'analyse économique à une longueur de 31.85 m et une largeur de 13.87 m. Toutes les poutres et poutrelles sont en lamellé-collé de type GL VF-24F-1.8E.

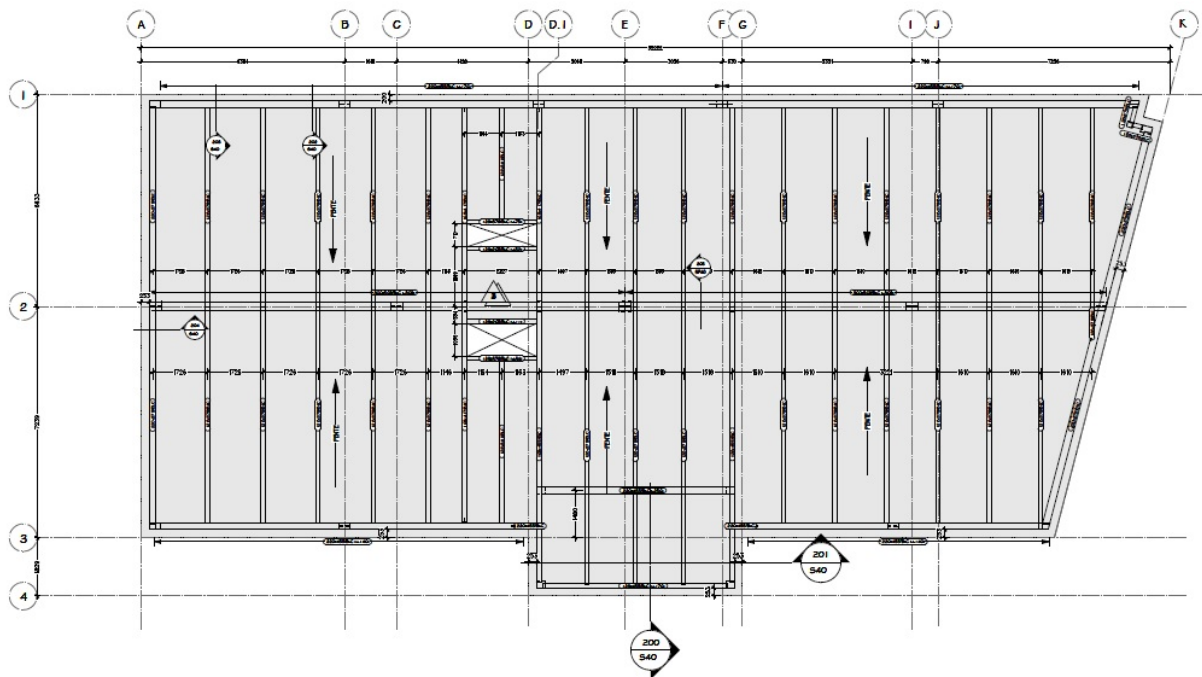


Figure 5.1-1 : Bâtiment type original (plan fourni par Structure Fusion)

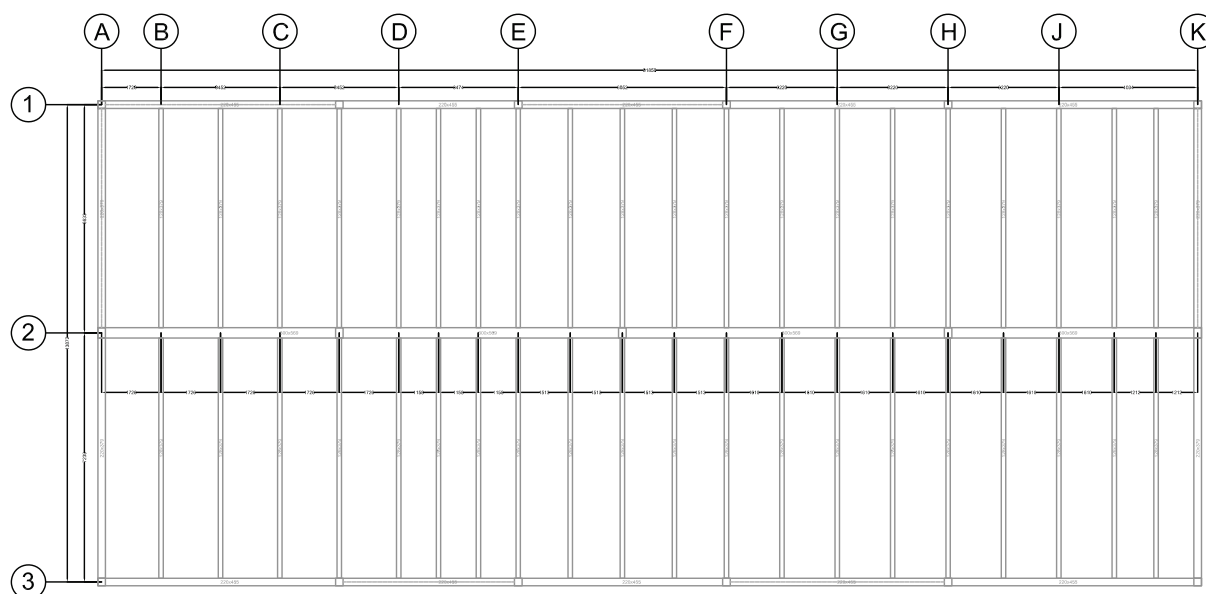


Figure 5.1-2 : Bâtiment type modifié

Les charges de conception appliquées au bâtiment type sont présentées au Tableau 5.1-3. Les efforts latéraux résultants sont calculés selon la partie 4 du CNBC 2015 [15].

Tableau 5.1-3 : Charges de conception

Charge morte plancher RDC	5.0 kPa		
Charge vive au plancher RDC	4.8 kPa		
Charge morte plancher étage	5.0 kPa		
Charge vive plancher étage	2.4 kPa		
Charge morte au toit	1.0 kPa		
Charge de neige	2.9 kPa*		
Charge de vent	0.35 kPa	$C_e = 0.83$	
Charge sismique (Bois)	Sol Classe D	$R_d = 2.0$	$R_o = 1.5$

* : Aucun amoncellement de neige supplémentaire n'a été considéré

États limites ultimes

Les efforts sismiques calculés avec la méthode de la force statique équivalente induisent un cisaillement à la base de 484.47 kN. Le système de reprise des forces sismiques (SRFS) utilisé dans ce bâtiment correspond à des contreventements de bois en chevron. Les SRFS ont été dimensionnés selon le principe de conception à la capacité. L'article 11.8.5.2.2 de la norme CSA O86-14 [4] définit la méthode de calcul de la résistance à la capacité pour un contreventement en bois, tel qu'utilisé dans le bâtiment type. La philosophie de conception fait

en sorte que les connecteurs joignant les contreventements à la structure sont les éléments dissipatifs qui contrôlent la capacité et sont conçus pour passer en régime plastique à une charge égale à la résistance en compression des diagonales. La résistance en compression et en tension des diagonales composant les contreventements en chevrons sont données au Tableau 5.1-4. Les notes de calcul pour le séisme pour cette section sont à l'Annexe E

Tableau 5.1-4 : Résistance des contreventements situés entre le deuxième plancher et le toit

DIRECTION DES EFFORTS	SECTION (mm * mm)	RÉSISTANCE EN TENSION (T_r) (kN)	RÉSISTANCE EN COMPRESSION (C_r) (kN)
Parallèle aux axes A à K	175x 190	260	146
Parallèle aux axes 1 à 3	175 x 266	260	162

Les charges de conception auxquelles le diaphragme de toit doit résister sont indiquées au Tableau 5.1-5.

Tableau 5.1-5 : Efforts de conception dans le diaphragme de toit

DIRECTION DES EFFORTS	EFFORT DE CISAILLEMENT (V_d) (kN)
Parallèle aux axes A à K	411
Parallèle aux axes 1 à 3	384

Les efforts de cisaillement en plan au niveau de la toiture pour chacune des combinaisons d'efforts latéraux et pour chaque axe du toit sont présentés au Tableau 5.1-6.

Tableau 5.1-6 : Efforts critiques de cisaillement causés par le vent et un séisme selon chacun des axes (kN/m)

AXE	D* (m)	VENT		SÉISME	
		CAS A **	CAS B **	CAS A **	CAS B **
1	0	-	0.29	-	6.02
2	6.633	-	0.01	-	0.26
3	13.872	-	-0.29	-	-6.02
A	0	1.72	-	14.81	-
B	1.726	1.49	-	13.20	-
C	5.178	1.03	-	9.99	-
D	8.630	0.71	-	6.78	-
E	12.104	0.38	-	3.55	-
F	18.156	-0.20	-	-2.07	-
G	21.376	-0.50	-	-5.07	-
H	24.596	-0.81	-	-8.06	-
J	27.816	-1.23	-	-11.06	-
K	31.850	-1.76	-	-14.81	-

NB : Les signes des efforts peuvent être inversés.

* : Distance horizontale ou verticale mesurée à partir du coin situé à l'extrême gauche et haut du bâtiment (voir Figure 5.1-2)

** : Cas A : Efforts perpendiculaires aux poutres; Cas B : Efforts parallèles aux poutres (selon Figure 4.1.7.6-A du CNBC 2015 [15])

Considérant l'effet de la rigidité en plan du diaphragme de toit sur la distribution des efforts, tel que décrit au Chapitre 2 du manuel SDI-DDM04 [3], ainsi que de la direction des poutres et poutrelles, le Tableau 5.1-7 présente l'effort en cisaillement critique en valeur absolue auquel le diaphragme doit résister à chaque axe dans la direction A à K. La Figure 5.1-3 présente le diagramme d'efforts tranchants appliqués sur le diaphragme de toit.

Tableau 5.1-7 : Efforts critiques de cisaillement

AXE	EFFORT CRITIQUE (kN/m)
A	14.81
B	13.20
C	9.99
D	6.78
E	6.02
F	6.02
G	6.02
H	8.06
J	11.06
K	14.81

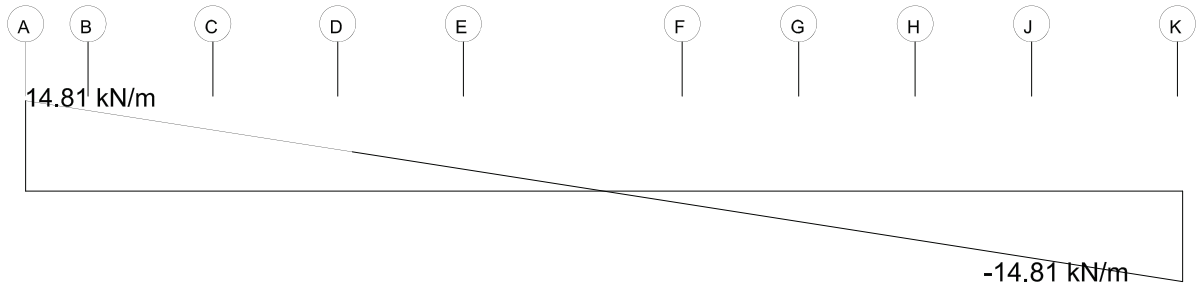


Figure 5.1-3 : Diagramme d'efforts tranchants sismiques

États limites de service

La déformation maximale dans le plan du toit est contrôlée par les déformations en service dues aux charges de vent, telles que présentées dans le Code national du bâtiment du Canada [15] qui renvoie au Tableau D-1 du Commentaire du Code national du bâtiment du Canada [15], et aux déformations dues aux séismes sous charges pondérées, telles que présentées dans le Code national du bâtiment du Canada [15]. La limite pour la déformation en service due au vent est :

$$\Delta_{permise} = \frac{h}{180} \quad (5-1)$$

où h est la hauteur totale du bâtiment mesurée à partir du sol. La limite pour la déformation à l'ultime sous la combinaison de charge de séisme pondérée est :

$$\Delta_{permise} = 0.025h \quad (5-2)$$

où h est la hauteur totale du bâtiment mesurée à partir du sol. Dans le cas du bâtiment type modifié, la déformation limite totale permise est présentée au Tableau 5.1-8 considérant que la hauteur est de 8.382 m.

Tableau 5.1-8 : Déformation permise pour le bâtiment type modifié

DÉFORMATION PERMISE (mm)	
Vent	46.6
Séisme	209.6

Les déformations en flexion du diaphragme de toit, présentées au Tableau 5.1-9, sont calculées en utilisant l'équation (2-36) pour chaque type d'effort, dans chacune des deux directions.

Tableau 5.1-9 : Déformations en flexion dans le diaphragme de toit

TYPE D'EFFORT	AXES PARALLÈLES	Δ_B (mm)
Vent	A-K	0.2
	1-3	0.0
Séisme	A-K	1.4
	1-3	0.0

Les déformations dans les SRFS, présentées au Tableau 5.1-10, sont calculées en fonction de la déformation latérale dans le domaine élastique de chaque étage pour chaque type d'effort, dans chacune des deux directions. Les déformations élastiques du Tableau 5.1-10 dues aux séismes ont été multipliées par $R_d R_0$ pour tenir compte de la ductilité du SRFS.

Tableau 5.1-10 : Déformations dans les SRFS

TYPE D'EFFORT	AXES PARALLÈLES	Δ_f (mm)
Vent	A-K	10.0
	1-3	5.5
Séisme	A-K	140.4
	1-3	84.6

Afin de déterminer la rigidité en cisaillement requise sous les efforts de vent et de séisme qui respecte les critères de déformation $\Delta_{permise}$ susmentionnés, les équations (2-35) à (2-37) ont été additionnées et la valeur de G' a ensuite été isolée :

$$G' \geq G'_{req} = \frac{ql^2}{8B\Delta_S} \quad (5-3)$$

où G'_{req} est la rigidité en cisaillement du diaphragme requise (N/mm), et $\Delta_S = \Delta_{permise} - \Delta_B - \Delta_f$ est la valeur résiduelle de déplacement entre le déplacement maximal permis, le déplacement correspondant à la flexion du toit et le déplacement correspondant à la déformation du SRFS.

Ainsi, considérant la conception du bâtiment type modifié, les valeurs de G'_{req} pour les charges de vent et de séisme dans chaque direction sont présentées au Tableau 5.1-11. La rigidité du diaphragme en cisaillement qui contrôle la conception est de 1741.29 N/mm. Cette rigidité requise correspond à la charge de séisme sous des charges pondérées dans la direction perpendiculaire aux poutres principales (parallèles aux axes A à K).

Tableau 5.1-11 : G' requise pour chaque type de chargement

TYPE D'EFFORT	AXES PARALLÈLES	G'_{req} (N/mm)
Vent	A-K	520.95
	1-3	75.34
Séisme	A-K	1741.29
	1-3	167.23

5.2. Conceptions de diaphragme de toit pour le bâtiment type

Trois connecteurs retenus au Chapitre 3 sont considérés dans l'analyse économique, c.à.d. : le clou de pontage #11 1½", la vis SST-HJ 1½" et la vis Rothoblaas TBS-6x80. Les pontages métalliques considérés sont des pontages CANAM P-3606 de calibres 20 et 22.

Les configurations de toit qui sont évaluées sont présentées au Tableau 5.2-1. Les configurations utilisent les valeurs théoriques de résistances basées sur la norme CSA O86-14 [4] (articles 12.9.4 pour les clous et 12.11.4 pour les vis) et la rigidité basée sur la valeur théorique déterminée par la méthode dérivée de la norme CSA O86-14 [4], présentée à la Section 2.1.4. Des configurations permettant l'utilisation de différents connecteurs sur une même toiture sont aussi étudiées pour des fins d'optimisation.

Tableau 5.2-1 : Liste des configurations évaluées dans l'analyse économique

CONFIG.	CONNECTEURS
CLOU	Clou à toit #11
SST-HJ	SST HJ
ROTHO-TBS	Rotho TBS 6x80
OPTIMISÉE	Rotho TBS 6x80, SST HJ et Clou à toit #11

Chaque configuration a été identifiée selon la nomenclature suivante :

<Fabricant>-<Modèle de connecteur/ Clou>

Exemple : SST-HJ

Abréviations des fabricants :

- **SST-HJ** Simpson Strong-Tie HJ;
- **ROTHO** Rothoblaas TBS 6x80;

- **CLOU** Clou de toit de Premier outils PRO #11 1-1/2;
- **OPTIMISÉE** Configuration optimisée utilisant tous les connecteurs;

Chaque conception présentée a été optimisée pour être la moins chère possible. Les deux tableaux associés à chaque conception présentent les détails de conception propre à chacune, la résistance et la rigidité ainsi qu'une ventilation des coûts. Pour obtenir une conception optimisée, le toit a été séparé en 5 sections. Les critères pour déterminer le besoin d'un changement de section sont : un changement dans l'espacement entre les poutrelles et un minimum d'au moins 3 portées de poutrelles pour obtenir un développement complet de l'effet de diaphragme. Les propriétés de chaque section, soit : la configuration des poutrelles, les résistances et rigidités requises, sont présentées au Tableau 5.2-2. Ces données ont été extraites des Tableau 5.1-7 et Tableau 5.1-11.

Tableau 5.2-2 : Propriétés des sections évaluées

SECTION DE PANNEAU	A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)	1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles	5	3	4	4	5
Résistance requise (kN/m)	14.81	6.78	6.02	8.06	14.81
Rigidité requise (kN/mm)	1.741	1.741	1.741	1.741	1.741

Les paramètres considérés lors des conceptions sont les suivants :

- profil de tablier CANAM P-3606 – 40 ksi (275 MPa)
- essence du bois des poutres et poutrelles : GL VF-24F-1.8E, $G = 0.5$;
- facteur de correction de l'assemblage acier-bois : $K_D = 1.15$ et $J_D = 1.3$
- le connecteur principal est fonction de la configuration évaluée;
- le connecteur aux joints latéraux est une vis de connecteur latéral no. 12;
- le patron d'assemblage est d'un des types suivants : 36/4, 36/7, 36/9, 36/11, 36/13, 36/14, 36/18, 36/22 et 36/28;
- l'espacement aux joints latéraux est d'un des types suivants : 900, 600, 300, 230, 150, 100 et 75 mm;
- l'espacement entre les poutrelles est fonction de la section de toit;
- le patron de connecteur en bout de feuille est le même que celui intérieur pour une même section de panneau sauf pour les sections près des contreventements (A-D et H-K);

- le connecteur en bout de feuille est le même que celui intérieur pour une même section de panneau;
- le nombre de portée est selon la section;
- le facteur de sécurité de 0.55 pour tous les états limites sauf en flambement hors-plan qui est de 0.75 (tel que proposé dans SDI DDM04 [3] p. 2-13)
- l'espacement entre les connecteurs des joints latéraux sur poutre peut différer de l'espacement entre les connecteurs des joints intérieurs;
- le calcul du coût est évalué pour la pleine largeur du bâtiment, soit 13.872 m;
- le coût de pré-perçage a été considéré pour le connecteur Rothoblaas TBS 6x80 tel que présenté dans le Tableau 5.1-2.

Les raisons pour lesquelles le même patron de connecteur a été utilisé dans les connexions en bout de panneau et dans les connexions intérieures sont les suivantes : 1) le changement du patron d'assemblage entre les bouts et à l'intérieur de chaque section complexifie sensiblement la construction et est dépendant de la position de chaque section; 2) tel qu'expliqué lors du calcul des tableaux du Chapitre 4, les tables de calcul des diaphragmes du catalogue de CANAM [27] imposent la même condition. Par contre, considérant que les connecteurs dans les lignes de connecteurs au-dessus des contreventements sont lourdement sollicités puisqu'ils transfèrent les efforts du diaphragme aux poutrelles, il est permis de différencier le patron en bout du patron intérieur pour ces sections, soit les sections A-D et H-K. Toutefois, le patron intérieur doit au moins être aussi dense que celui des sections adjacentes pour faciliter la transition et l'installation.

Le chiffrier de calcul développé au Chapitre 4 a été bonifié pour l'analyse économique par l'ajout d'un module d'optimisation. Ce module évalue exhaustivement, pour chaque section de toit, toutes les configurations possibles en fonction des paramètres de conception considérés. Pour chaque configuration étudiée, la résistance aux efforts et la rigidité est évaluée dans chaque section de toiture afin d'identifier la configuration la plus économique. Le nombre d'analyses requises est de :

- 882 pour chaque section D-E, E-F et F-H pour les 3 configurations avec un seul type de connecteur;

- 7938 pour chaque section A-D et H-K pour les 3 configurations avec un seul type de connecteur;
- 2646 pour chaque section D-E, E-F et F-H pour la configuration optimisée;
- 23814 pour chaque section A-D et H-K pour la configuration optimisée.

Au total, 111132 analyses ont été effectuées.

5.2.1. Configuration Clou

Lors de la conception avec les clous basée sur les valeurs de résistance théoriques selon la norme CSA O86-14 [4], il n'est pas possible, en respectant les patrons, espacements et types de pontage disponibles, de résister aux charges développées près des contreventements. Les résultats pour chaque section de pontage sont présentés au Tableau 5.2-3. L'estimé de coût pour les sections de toit qui ont résistées est présenté au Tableau 5.2-4. Le coût pour les sections qui n'ont pas résisté n'est pas calculé.

Tableau 5.2-3 : Configuration CLOU - Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	22	22	22	20
Connecteur intérieur	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/18	36/14	36/22	36/28
Connecteur en Bout	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/18	36/14	36/22	36/28
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	75	150	75	150	75
Joints latéraux sur poutre	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Espacement (mm)	75	100	75	75	75
Résistance (kN/m)	Requise	14.81	6.78	6.02	8.06	14.81
	Calculée	8.94	7.05	6.15	8.07	9.33
	Mode de contrôle	E	C	C	C	E
Rigidité (kN/mm)	Requise	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
	Calculée	27.04	11.12	17.68	15.66	25.63

* : Valeurs en rouge sont non-conformes

Tableau 5.2-4 : Configuration CLOU - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		-	635	1106	1177	-	-	-
Installation panneau *		-	259	452	481	-	-	-
Connecteur intérieur	Matériaux	-	2	3	4	-	-	-
	Installation	-	18	23	35	-	-	-
Connecteur en bout	Matériaux	-	1	2	1	-	-	-
	Installation	-	9	15	12	-	-	-
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	-	0	1	1	-	-	-
	Installation	-	3	9	9	-	-	-
TOTAL		-	927	1610	1720	-	-	-
COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)		-	19.24	19.18	19.25	-	-	-

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

** : Valeurs en rouge sont non-conformes

5.2.2. Configuration SST-HJ

Lors de la conception avec les vis Simpsons's Strong Tie HJ basée sur les valeurs de résistance théoriques selon la norme CSA O86-14 [4], il n'est pas possible, en respectant les patrons, espacements et types de pontage disponibles, de résister aux charges développées près des contreventements. Les résultats pour chaque section de pontage sont présentés au Tableau 5.2-5. L'estimé des coûts est présentée au Tableau 5.2-6. Le coût pour les sections qui n'ont pas résisté n'est pas calculé.

Tableau 5.2-5 : Configuration SST-HJ – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espaceur entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	22	22	22	20
Connecteur intérieur	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Patron	36/28	36/13	36/11	36/18	36/28
Connecteur en Bout	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Patron	36/28	36/13	36/11	36/18	36/28
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espaceur (mm)	75	100	75	150	75
Joints latéraux sur poutre	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Espaceur (mm)	75	100	100	100	75
Résistance (kN/m)	Requise	14.81	6.78	6.02	8.06	14.81
	Calculée	11.45	7.02	6.10	8.33	11.95
	Mode de contrôle	E	C	C	C	E
Rigidité (kN/mm)	Requise	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
	Calculée	27.14	11.96	17.70	15.79	25.74

* : Valeurs en rouge sont non-conformes

Tableau 5.2-6 : Configuration SST-HJ - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		-	635	1106	1177	-	-	-
Installation panneau *		-	259	452	481	-	-	-
Connecteur intérieur	Matériaux	-	20	24	39	-	-	-
	Installation	-	34	41	67	-	-	-
Connecteur en bout	Matériaux	-	10	16	13	-	-	-
	Installation	-	17	28	22	-	-	-
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	-	5	10	9	-	-	-
	Installation	-	9	17	15	-	-	-
TOTAL		-	989	1693	1823	-	-	-
COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)		-	20.53	20.17	20.40	-	-	-

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

** : Valeurs en rouge sont non-conformes

5.2.3. Configuration Rotho TBS 6x80

Lors de la conception avec les vis Rothoblaas TBS 6x80 basée sur les valeurs de résistance théoriques selon la norme CSA O86-14 [4], il n'est pas possible, en respectant les patrons, espacements et types de pontage disponibles, de résister aux charges développées près des contreventements. Les résultats pour chaque section de pontage sont présentés au Tableau 5.2-7. L'estimé des coûts est présentée au Tableau 5.2-8. Le coût pour les sections qui n'ont pas résisté n'est pas calculé.

Tableau 5.2-7 : Configuration ROTHO-TBS – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	22	22	22	20
Connecteur intérieur	Type	Rotho	Rotho	Rotho	Rotho	Rotho
		TBS	TBS	TBS	TBS	TBS
		6x80	6x80	6x80	6x80	6x80
Connecteur en Bout	Type	36/28	36/11	36/9	36/13	36/22
		Rotho	Rotho	Rotho	Rotho	Rotho
		TBS	TBS	TBS	TBS	TBS
Joints latéraux intérieurs	Type	6x80	6x80	6x80	6x80	6x80
		36/28	36/11	36/9	36/13	36/22
		vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
Joints latéraux sur poutre	Type	75	150	100	100	75
		Rotho	Rotho	Rotho	Rotho	Rotho
		TBS	TBS	TBS	TBS	TBS
Résistance (kN/m)	Type	6x80	6x80	6x80	6x80	6x80
		75	150	150	100	75
		Requise	Requise	Requise	Requise	Requise
Rigidité (kN/mm)	Type	14.81	6.78	6.02	8.06	14.81
		Calculée	Calculée	Calculée	Calculée	Calculée
		Mode de contrôle	Mode de contrôle	Mode de contrôle	Mode de contrôle	Mode de contrôle
Rigidité (kN/mm)	Type	E	C	C	C	E
		1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
		Calculée	Calculée	Calculée	Calculée	Calculée

* : Valeurs en rouge sont non-conformes

Tableau 5.2-8 : Configuration ROTHO-TBS - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		-	635	1106	1177	1529	-	-
Installation panneau *		-	259	452	481	542	-	-
Connecteur intérieur	Matériaux	-	40	45	74	168	-	-
	Installation	-	165	188	308	701	-	-
Connecteur en bout	Matériaux	-	20	30	25	42	-	-
	Installation	-	83	125	103	175	-	-
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	-	8	15	26	35	-	-
	Installation	-	32	62	110	146	-	-
TOTAL		-	1241	2023	2303	3338	-	-
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		-	25.76	24.10	25.78	33.17	-	-

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

** : Valeurs en rouge sont non-conformes

5.2.4. Configuration Optimisée

Toutes les configurations de pontage ont été analysées avec tous les types de connecteurs considérés. Ne sachant pas l'impact de l'utilisation de plusieurs types de connecteurs simultanément sur le coût d'installation global, il a été décidé de limiter l'analyse à deux types de connecteurs par configurations étudiées.

Lors de la conception optimisée selon les valeurs de résistance théoriques, il n'est pas possible, en respectant les patrons, espacements et types de pontage disponibles, de résister aux charges développées près des contreventements. Les résultats pour chaque section de pontage sont présentés au Tableau 5.2-9. L'estimé des coûts est présenté au Tableau 5.2-10. Le coût pour les sections qui n'ont pas résisté n'est pas calculé.

Tableau 5.2-9 : Configuration OPTIMISÉE – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	22	22	22	20
Connecteur intérieur	Type	Rotho TBS 6x80	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Rotho TBS 6x80
	Patron	36/28	36/18	36/14	36/22	36/22
Connecteur en Bout	Type	Rotho TBS 6x80	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Rotho TBS 6x80
	Patron	36/28	36/18	36/14	36/22	36/22
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	75	150	75	100	75
Joints latéraux sur poutre	Type	Rotho TBS 6x80	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Rotho TBS 6x80
	Espacement (mm)	75	100	75	75	75
Résistance (kN/m)	Requise	14.81	6.78	6.02	8.06	14.81
	Calculée	14.78	7.05	6.15	8.37	15.00
	Mode de contrôle	E	C	C	E	E
Rigidité (kN/mm)	Requise	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
	Calculée	27.25	11.12	17.68	17.35	25.83

Tableau 5.2-10 : Configuration OPTIMISÉE - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		-	635	1106	1177	1529	-	-
Installation panneau *		-	259	452	481	542	-	-
Connecteur intérieur	Matériaux	-	2	3	4	168	-	-
	Installation	-	18	23	35	701	-	-
Connecteur en bout	Matériaux	-	1	2	1	42	-	-
	Installation	-	9	15	12	175	-	-
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	-	0	1	1	35	-	-
	Installation	-	3	9	9	146	-	-
TOTAL		-	927	1610	1720	3338	-	-
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		-	19.24	19.18	19.25	33.17	-	-

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

5.3. Limitations liées au bâtiment type

Suite aux conceptions produites dans la section précédente, il est apparent que dû aux efforts de cisaillement auxquels doit résister le diaphragme, aucune configuration de toit ne peut résister aux efforts de façon élastique. La configuration de la section A-D, près du contreventement est la plus sollicitée. Ceci limite la capacité de comparaison entre les connecteurs et les différentes variables du coût, puisqu'il n'y a pas de comparable complet de la conception du bâtiment. L'espacement entre les poutrelles pourrait être réduit pour augmenter la résistance, par contre cette modification ajoute un coût qui n'a pas été considéré dans cette analyse, soit le coût de matériaux et d'installation des poutrelles.

En pratique, l'ajout de SRFS intermédiaires permettrait de réduire les efforts dans le diaphragme de toit permettant ainsi l'utilisation de connecteurs ayant des résistances modestes. Une autre méthode de conception possible serait d'utiliser le pontage d'acier sur une charpente en bois comme élément ductile tel que permis dans le CNBC 2015 à l'article 4.1.8.15 2) [15] pour les diaphragmes de toit dans les charpentes d'acier de 4 étages et moins. Ceci permettrait de réduire les efforts de cisaillement de dimensionnement dans le diaphragme. Cette méthode ne peut être utilisée à ce jour puisque le niveau de ductilité cyclique de ce type de système bois-acier n'a jamais fait l'objet de recherches expérimentales et reste à démontrer.

5.4. Conceptions en fonction des charges réduites

Afin de permettre de comparer les coûts liés à tous les types de connecteurs étudiés, l'effort de conception au toit a été réduit de telle sorte que l'effort de cisaillement maximal considéré dans les analyses soit inférieur ou égal à la résistance en cisaillement maximal d'un pontage composé de clou seulement en section A-D. L'effort sismique appliqué au toit a donc été considéré comme étant de 248,03 kN dans chaque direction. La Figure 5.4-1 présente le diagramme des efforts tranchants réduits au toit.

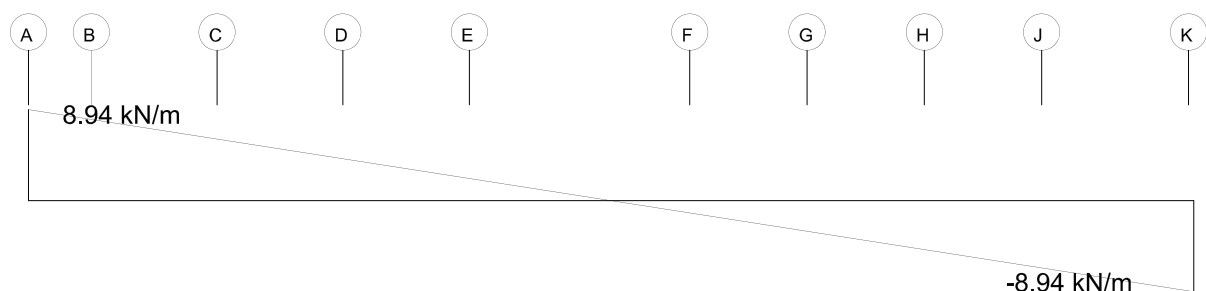


Figure 5.4-1 : Diagramme d'efforts tranchants sous les efforts sismiques réduits

Les nouvelles propriétés de chaque section, soit : les résistances et les rigidités requises, sont présentées au Tableau 5.4-1. La résistance requise est déterminée par les efforts dus aux séismes. Les rigidités en cisaillement requises au niveau du diaphragme ont été recalculées en fonction des nouveaux efforts. La nouvelle rigidité requise correspond à la déformation maximale permise à l'ultime pour les efforts de séisme dans la direction parallèle aux axes A à K.

Tableau 5.4-1 : Propriétés des sections évaluées sous charge réduite

SECTION DE PANNEAU	A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)	1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles	5	3	4	4	5
Résistance requise (kN/m)	8.94	4.10	3.89	4.87	8.94
Rigidité requise (kN/mm)	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81

En raison des nouveaux efforts et rigidités calculés, quatre nouvelles analyses sont faites pour les quatre mêmes configurations que dans la Section 5.2. Les mêmes critères de conception sont utilisés.

5.4.1. Configuration Clou avec charges réduites

Lors de la conception avec les clous seulement sous efforts réduits basée sur les valeurs de résistance théoriques selon la norme CSA O86-14 [4], il est possible, en respectant les patrons, espacements et types de pontage disponibles, de résister aux charges développées près des contreventements. Les résultats pour chaque section de pontage sont présentés au Tableau 5.4-2. L'estimé de coût pour les sections de toit qui ont résistées est présenté au Tableau 5.4-3. Le coût total est de 8916 \$ soit 20.18 \$ par mètre carré.

Tableau 5.4-2 : Configuration CLOU avec charges réduites – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	22	22	22	20
Connecteur intérieur	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/11	36/11	36/13	36/22
Connecteur en Bout	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/11	36/11	36/13	36/22
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	75	230	300	150	100
Joints latéraux sur poutre	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Espacement (mm)	75	150	150	100	75
Résistance (kN/m)	Requise	8.94	4.09	3.89	4.87	8.94
	Calculée	8.94	4.31	3.99	5.28	9.07
	Mode de contrôle	E	C	C	C	E
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
	Calculée	27.04	10.31	12.46	15.61	24.01

Tableau 5.4-3 : Configuration CLOU avec charges réduites - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1818	635	1106	1177	1529	6265	14.18
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	7	1	2	2	6	19	0.04
	Installation	63	11	17	21	47	158	0.36
Connecteur en bout	Matériaux	2	1	1	1	1	6	0.01
	Installation	16	6	11	7	12	51	0.11
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	1	0	0	1	1	4	0.01
	Installation	12	2	4	7	10	36	0.08
TOTAL		2564	915	1593	1697	2146	8916	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		21.42	18.99	18.98	18.99	21.33		20.18

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

5.4.2. Configuration SST-HJ avec charges réduites

Lors de la conception avec les vis Simpsons's Strong Tie HJ seulement sous efforts réduits basée sur les valeurs de résistance théoriques selon la norme CSA O86-14 [4], il est possible, en respectant les patrons, espacements et types de pontage disponibles, de résister aux charges développées près des contreventements. Les résultats pour chaque section de pontage sont présentés au Tableau 5.4-4. L'estimé des coûts est présentée au Tableau 5.4-5. Le coût total est de 8753 \$ soit 19.81 \$ par mètre carré.

Tableau 5.4-4 : Configuration SST-HJ avec charges réduites – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		22	22	22	22	22
Connecteur intérieur	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Patron	36/9	36/9	36/9	36/9	36/9
Connecteur en Bout	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Patron	36/22	36/9	36/9	36/9	36/22
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	150	230	300	100	150
Joints latéraux sur poutre	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Espacement (mm)	75	230	150	150	75
Résistance (kN/m)	Requise	8.94	4.09	3.89	4.87	8.94
	Calculée	9.19	4.43	4.10	4.87	9.18
	Mode de contrôle	C	C	C	C	C
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
	Calculée	18.10	10.40	12.62	17.36	17.09

Tableau 5.4-5 : Configuration SST-HJ avec charges réduites - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1577	635	1106	1177	1326	5821	13.18
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	24	12	18	18	24	96	0.22
	Installation	42	21	31	31	42	167	0.38
Connecteur en bout	Matériaux	17	6	12	6	17	58	0.13
	Installation	29	10	21	10	29	100	0.23
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	19	2	6	6	16	49	0.11
	Installation	33	3	10	11	27	84	0.19
TOTAL		2386	948	1656	1741	2022	8753	
COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)		19.93	19.67	19.73	19.49	20.09		19.81

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

5.4.3. Configuration Rotho TBS 6x80 avec charges réduites

Lors de la conception avec les vis Rothoblaas TBS 6x80 seulement sous efforts réduits basée sur les valeurs de résistance théoriques selon la norme CSA O86-14 [4], il est possible, en respectant les patrons, espacements et types de pontage disponibles, de résister aux charges développées près des contreventements. Les résultats pour chaque section de pontage sont présentés au Tableau 5.4-6. L'estimé des coûts est présentée au Tableau 5.4-7. Le coût total est de 10454 \$ soit 23.66 \$ par mètre carré.

Tableau 5.4-6 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		22	22	22	22	22
Connecteur intérieur	Type	Rotho	Rotho	Rotho	Rotho	Rotho
		TBS	TBS	TBS	TBS	TBS
		6x80	6x80	6x80	6x80	6x80
Connecteur en Bout	Type	36/7	36/7	36/7	36/9	36/9
		Rotho	Rotho	Rotho	Rotho	Rotho
		TBS	TBS	TBS	TBS	TBS
Joints latéraux intérieurs	Type	6x80	6x80	6x80	6x80	6x80
		36/13	36/7	36/7	36/9	36/18
		vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
Joints latéraux sur poutre	Type	75	230	300	230	150
		Rotho	Rotho	Rotho	Rotho	Rotho
		TBS	TBS	TBS	TBS	TBS
Résistance (kN/m)	Type	6x80	6x80	6x80	6x80	6x80
		75	230	230	150	100
		Requise	Requise	Requise	Requise	Requise
Rigidité (kN/mm)	Type	8.94	4.09	3.89	4.87	8.94
		Calculée	Calculée	Calculée	Calculée	Calculée
		Mode de contrôle	Mode de contrôle	Mode de contrôle	Mode de contrôle	Mode de contrôle
Rigidité (kN/mm)	Type	C	C	C	C	C
		0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
		Calculée	Calculée	Calculée	Calculée	Calculée

Tableau 5.4-7 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites – Ventilation des coût
(en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE	A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux	1577	635	1106	1177	1326	5821	13.18
Installation panneau *	644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur Matériaux	49	25	37	45	60	216	0.49
intérieur Installation	205	103	154	188	251	901	2.04
Connecteur Matériaux	25	12	25	15	32	109	0.25
en bout Installation	103	51	103	63	135	454	1.03
Joints Matériaux	52	6	11	16	27	111	0.25
latéraux Installation	216	24	44	66	114	464	1.05
TOTAL	2871	1115	1931	2050	2487	10454	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)	23.98	23.14	23.00	22.95	24.71		23.66

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

5.4.4. Configuration Optimisée avec charges réduites

Toutes les configurations de pontage ont été analysées avec tous les types de connecteurs considérés. Ne sachant pas l'impact de l'utilisation de plusieurs types de connecteurs simultanément sur le coût d'installation global, il a été décidé de limiter l'analyse à deux types de connecteurs par configurations étudiées.

Lors de la conception optimisée sous efforts réduits selon les valeurs de résistance théoriques, il est possible, en respectant les patrons de connexion, les espacements et les types de pontage disponibles, de résister aux charges développées près des contreventements. Les résultats pour chaque section de pontage sont présentés au Tableau 5.4-8. L'estimé des coûts est présenté au Tableau 5.4-9. Le coût total est de 8530 \$ soit 19.31 \$ par mètre carré.

Cette solution optimisée remplace les clous #11 par des vis Simpson's Strong Tie HJ pour les sections près des contreventements qui demandait du pontage de grade 20 dans la conception clou seulement. Cette solution est la moins chère. Les différences entre les coûts des sections A-D et H-K pour la configuration SST-HJ et la configuration Optimisée résultent d'une réduction du nombre de connecteurs intérieurs dans le cas de la solution Optimisée. Puisqu'il y a un changement de connecteur entre les sections extérieures (A-D et H-K) et celle intérieure,

la règle de conception indiquée au début de la Section 5.2 stipulant que « Toutefois, le patron intérieur doit au moins être aussi dense que celui des sections adjacentes pour faciliter la transition et l'installation. » ne peut pas être respectée. Considérant que dans la configuration SST-HJ le patron intérieur des sections A-D et H-K est contrôlé par celui des sections adjacentes, dans la configuration optimisée, le résultat pour ces sections est contrôlé par la section elle-même et donne une solution moins dense, réduisant le nombre de connecteur et donc le coût.

Tableau 5.4-8 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		22	22	22	22	22
Connecteur intérieur	Type	SST HJ	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	SST HJ
	Patron	36/4	36/11	36/11	36/13	36/4
Connecteur en Bout	Type	SST HJ	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	SST HJ
	Patron	36/22	36/11	36/11	36/13	36/22
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	150	230	300	150	150
Joints latéraux sur poutre	Type	SST HJ	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	SST HJ
	Espacement (mm)	75	150	150	100	75
Résistance (kN/m)	Requise	8.94	4.09	3.89	4.87	8.94
	Calculée	9.02	4.31	3.99	5.28	9.00
	Mode de contrôle	E	C	C	C	C
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
	Calculée	18.05	10.31	12.46	15.61	17.03

Tableau 5.4-9 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1577	635	1106	1177	1326	5821	13.18
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	8	1	2	2	8	22	0.05
	Installation	14	11	17	21	14	77	0.17
Connecteur en bout	Matériaux	17	1	1	1	17	36	0.08
	Installation	29	6	11	7	29	82	0.19
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	20	0	0	1	16	38	0.09
	Installation	35	2	4	7	28	77	0.17
TOTAL		2345	915	1593	1697	1981	8530	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		19.58	18.99	18.98	18.99	19.68		19.31

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

5.5. Comparaison des résultats

Cette section présente la comparaison des résultats des diverses configurations étudiées qui inclut : 1) l'influence du pontage; 2) l'influence du pré-perçage, 3) l'influence du choix des connecteurs sur les coûts. Des configurations supplémentaires ont été créées pour permettre une analyse plus complète dans certains cas particuliers. Celles-ci sont détaillées dans l'Annexe E. Le Tableau 5.5-1 présente les coûts par surface pour chacune des configurations en fonction des sections de toit.

Tableau 5.5-1 : Ventilation des couts par surface en fonction des sections de toit

CONFIGURATION	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)					
	A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	Total
CLOU	21.42	18.99	18.98	18.99	21.33	20.18
SST-HJ	19.93	19.67	19.73	19.49	20.09	19.81
ROTHO-TBS	23.98	23.14	23.00	22.95	24.71	23.66
OPTIMISÉE	19.58	18.99	18.98	18.99	19.68	19.31

Les coûts ventilés par source de coût pour chaque configuration sont présentés au Tableau 5.5-2.

Tableau 5.5-2 : Ventilation des coûts par surface en fonction des sources de coût

CONFIGURATION	COÛT PAR SURFACE (\$/m²)								
	MATÉRIAUX PANNEAUX	INSTALLATION PANNEAU *	CONNECTEUR INTÉRIEUR		CONNECTEUR EN BOUT		SERTISSAGE SUR POUTRE		TOTAL
			MATÉRIAUX	INSTALLATION	MATÉRIAUX	INSTALLATION	MATÉRIAUX	INSTALLATION	
CLOU	14.18	5.38	0.04	0.36	0.01	0.11	0.01	0.08	20.18
SST-HJ	13.18	5.38	0.22	0.38	0.13	0.23	0.11	0.19	19.81
ROTHO-TBS	13.18	5.38	0.49	2.04	0.25	1.03	0.25	1.05	23.66
OPTIMISÉE	13.18	5.38	0.05	0.17	0.08	0.19	0.09	0.17	19.31

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

5.5.1. Influence du pontage

La principale source de coût dans les diaphragmes de toit avec connexions acier-bois est le coût du pontage. Le coût total d'un diaphragme est principalement lié à la surface à couvrir et au choix des connecteurs. Si le bâtiment type était entièrement conçu pour un pontage de type 20, le coût du pontage serait de 15.19 \$/m². Une augmentation de 2 \$/m² entre un toit entièrement en pontage de type 22 et un de type 20 est obtenue, telle que prévue selon les données du Tableau 5.1-1. Par contre, dans un contexte de la conception d'un bâtiment réel, l'augmentation de coût est plus petite, puisque le nombre de connecteurs nécessaires pour résister à la même charge en utilisant un pontage de type 20 est plus petit que pour un pontage de type 22. Le Tableau 5.5-3 présente les coûts ventilés pour les configurations considérant un pontage de type 20 par rapport aux coûts obtenus pour les configurations de la Section 5.4. Les configurations supplémentaires sont détaillées à l'Annexe E.

Tableau 5.5-3 : Ventilation des coûts par surface en fonction du type de pontage

CONFIGURATION	COÛT PAR SURFACE (\$/m²)								TOTAL
	MATÉRIAUX PANNEAUX	INSTALLATION PANNEAU *	CONNECTEUR INTÉRIEUR		CONNECTEUR EN BOUT		SERTISSAGE SUR POUTRE		
			MATÉRIAUX	INSTALLATION	MATÉRIAUX	INSTALLATION	MATÉRIAUX	INSTALLATION	
CLOU-22 **	14.18	5.38	0.04	0.36	0.01	0.11	0.01	0.08	20.18
CLOU-20	15.19	5.38	0.04	0.33	0.01	0.10	0.01	0.08	21.15
SST-HJ-22	13.18	5.38	0.22	0.38	0.13	0.23	0.11	0.19	19.81
SST-HJ-20	15.19	5.38	0.21	0.37	0.11	0.19	0.11	0.19	21.75
ROTHO-TBS-22	13.18	5.38	0.49	2.04	0.25	1.03	0.25	1.05	23.66
ROTHO-TBS-20	15.19	5.38	0.45	1.86	0.24	1.00	0.23	0.96	25.31
OPTIMISÉ-22	13.18	5.38	0.05	0.17	0.08	0.19	0.09	0.17	19.31
OPTIMISÉE-20	15.19	5.38	0.04	0.33	0.01	0.10	0.01	0.08	21.15

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

** : La configuration CLOU-22 inclus un pontage type 20 au deux extrémité, tel que requis pour permettre une résistance suffisante

Le Tableau 5.5-4 compare les coûts totaux obtenus en fonction du type de pontage utilisé. Les résultats présentent une augmentation moyenne de 1.60 \$/m² pour les configurations utilisant le pontage type 20 uniquement comparativement à leur équivalent, ce qui est cohérent avec l'hypothèse de réduction des coûts en raison de la diminution du nombre de connecteurs nécessaires. Par contre cette réduction n'est pas suffisante pour contrebalancer l'augmentation causée par le type de pontage.

Tableau 5.5-4 : Comparaison des coûts totaux par surface en fonction du type de pontage (\$/m²)

CONFIGURATION	22	20	DIFFÉRENCE
CLOU	20.18	21.15	0.97
SST-HJ	19.81	21.75	1.94
ROTHO-TBS	23.66	25.31	1.65
OPTIMISÉE	19.31	21.15	1.84

Il est à noter que la configuration Optimisée restreinte au pontage de type 20 est la même configuration que celle du Clou de type 20.

Généralement, il n'est pas nécessaire d'augmenter l'épaisseur d'un pontage pour la totalité de la surface d'un bâtiment. À l'exception des cas où les configurations utilisant le pontage de type 20 sont les seules possibles pour résister aux charges, par exemple, dans la configuration de clou. Il existe toujours une configuration utilisant le pontage de type 22 où les patrons de connecteurs sont plus denses. Malgré cela, un changement de type de pontage a toujours une incidence économique importante. Par exemple, en se référant aux tables de calcul de l'Annexe D, pour un connecteur Simpson's Strong-Tie HJ, si l'espacement entre poutrelles est fixé à 1200 mm, parmi les 63 configurations utilisant le pontage de type 20, seulement deux d'entre elles n'ont pas d'équivalents avec un pontage de type 22.

Coût d'installation du pontage

Le coût d'installation du pontage, qui inclut les connecteurs aux joints latéraux intérieurs, même s'il est important, n'a pas d'influence sur l'analyse économique puisqu'il est indépendant des variables à l'étude, soit le type de connecteur, le patron d'assemblage, l'espacement entre poutrelles, le type de pontage, l'espacement entre les connecteurs aux joints latéraux intérieurs et le type de joints latéraux, selon les données fournies dans la Section 5.1.1.

5.5.2. Influence du pré-perçage

Le pré-perçage des pontages influence substantiellement le coût d'installation des connecteurs, autant à l'intérieur, qu'en bout, ainsi que sur les joints latéraux. Dans la présente étude, seulement le connecteur Rothoblaas TBS-6x80 requiert un pré-perçage, tel que mentionné à la Section 3.3.4. Toutefois, des essais relatifs à la facilité d'installation pour les connecteurs retenus n'ont pas été effectués dans un contexte d'utilisation in-situ permettant de confirmer (ou

d'infirmen) la nécessité d'un pré-perçage. Fait à noter, les clous ne nécessitent pas de pré-perçage.

Pour les fins de l'analyse économique, quatre configurations supplémentaires ont été réalisées pour considérer le coût de pré-perçage : SST-HJ avec pré-perçage. ROTHO sans pré-perçage, OPTIMISÉE avec 100% de pré-perçage et OPTIMISÉE sans pré-perçage.

Les résultats de ces configurations sont présentés à l'Annexe E. Le Tableau 5.5-5 présente une ventilation des coûts par sources de coût de toutes les configurations, celles présentées à la Section 5.4 ainsi que les supplémentaires. Le Tableau 5.5-6 compare les coûts totaux par surface en fonction du pré-perçage.

Tableau 5.5-5 : Ventilation des coûts par surface en fonction des sources de coût

CONFIGURATION	COÛT PAR SURFACE (\$/m²)								TOTAL
	MATÉRIAUX PANNEAUX	INSTALLATION PANNEAU *	CONNECTEUR INTÉRIEUR		CONNECTEUR EN BOUT		SERTISSAGE SUR POUTRE		
			MATÉRIAUX	INSTALLATION	MATÉRIAUX	INSTALLATION	MATÉRIAUX	INSTALLATION	
CLOU-PP	14.18	5.38	0.04	0.36	0.01	0.11	0.01	0.08	20.18
CLOU-NPP	14.18	5.38	0.04	0.36	0.01	0.11	0.01	0.08	20.18
SST-HJ-PP	13.18	5.38	0.22	1.51	0.13	0.91	0.11	0.76	22.20
SST-HJ-NPP	13.18	5.38	0.22	0.38	0.13	0.23	0.11	0.19	19.81
ROTHO-TBS-PP	13.18	5.38	0.49	2.04	0.25	1.03	0.25	1.05	23.66
ROTHO-TBS-NPP	13.18	5.38	0.49	1.02	0.25	0.51	0.25	0.53	21.60
OPTIMISÉE-MIX	13.18	5.38	0.05	0.17	0.08	0.19	0.09	0.17	19.31
OPTIMISÉE-PP	14.18	5.38	0.04	0.36	0.01	0.11	0.01	0.08	20.18
OPTIMISÉE-NPP	13.18	5.38	0.05	0.17	0.08	0.19	0.09	0.17	19.31

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

** : MIX = Mélange de pré-perçage et non selon les configurations originales

PP = Pré-perçage

NPP = Aucun pré-perçage

Tableau 5.5-6 : Comparaison des coûts par surface total en fonction du pré-perçage (\$/m²)

CONFIGURATION	PRÉ-PERÇAGE	AUCUN PRÉ-PERÇAGE	DIFFÉRENCE
CLOU	20.18	20.18	0
SST-HJ	22.20	19.81	2.39
ROTHO-TBS	23.66	21.60	2.06
OPTIMISÉE	20.18	19.31	0.87

Les résultats concernant le pré perçage indiquent que dans tous les cas, à l'exception des clous, l'ajout de pré-perçage augmente les coûts d'installation. Une augmentation moyenne de 2.23 \$/m² est observée si le pré-perçage est nécessaire. La configuration optimisée avec pré-perçage est identique à la configuration avec clou seulement, ce qui signifie que l'augmentation du coût dû au pré-perçage est plus grande que le surcoût lié à l'utilisation d'un pontage de type 20. La configuration optimisée sans pré-perçage est identique à celle conçue dans la section précédente, ce qui est sans surprise puisque celle-ci était déjà sans pré-perçage nécessaire. L'augmentation du coût dans la configuration optimisée est plus petite puisque les sections centrales restent conçues avec des clous qui ne requièrent pas de pré-perçage.

Le pré-perçage ne change rien dans le choix du connecteur pour la solution optimisée puisque le connecteur Rothoblaas est plus cher que le connecteur Simpson's Strong-Tie HJ, peu importe que le pré-perçage soit requis ou non pour les deux connecteurs.

La nécessité du pré-perçage doit être réévaluée plus en détail pour les deux vis et pour tout autre types de pontage. La nécessité ou non d'un pré-perçage influence le coût de construction.

5.5.3. Influence du choix de connecteur

Le choix du connecteur influence le coût final. Le Tableau 5.5-7 compare les coûts totaux en fonction du type de connecteur excluant le coût de pré-perçage. Le type de pontage est le même pour toutes les solutions, sauf dans le cas de la configuration clou.

Tableau 5.5-7 : Comparaison des coûts par unité de surface en fonction du connecteur utilisé (\$/m²)

CONFIGURATION	COÛT	DIFFÉRENCE PAR RAPPORT À LA SOLUTION OPTIMISÉ
CLOU	20.18	0.87
SST-HJ	19.81	0.50
ROTHO-TBS	21.60	2.29
OPTIMISÉE	19.31	0

La différence de coût entre la configuration Clou et la configuration Optimisée est de 0.87 \$/m², ce qui représente l'ensemble du coût supplémentaire lié à l'utilisation du pontage de type 20 pour les clous près des contreventements, incluant la réduction lié au coût d'installation des clous au lieu de Simpson's Strong-Tie HJ.

La différence de coût entre la configuration Simpson's Strong-Tie HJ et la configuration Optimisée de 0.50 \$/m² est relativement petite considérant les différences de conception entre les deux configurations. Les analyses ne tiennent pas compte de la possible augmentation du coût liée au fait d'utiliser deux types de connecteurs. Plus de recherche sur le sujet serait nécessaire.

La différence de coût entre la configuration Rothoblaas TBS-6x80 et la configuration Optimisée est de 2.29 \$/m². En ajoutant le coût de pré-perçage, la différence est de 4.35 \$/m². Compte tenu des coûts importants reliés à l'utilisation du connecteur Rothoblaas, son utilisation doit être justifiée par des conditions critiques.

5.6. Conclusions

Sur la base des analyses effectuées dans ce chapitre, les recommandations et conclusions suivantes sont énoncées :

- Un diaphragme de type acier-bois est beaucoup moins résistant qu'un diaphragme de type acier-acier. Il est important de concevoir et de répartir spatialement les SRFS des bâtiments acier-bois en tenant compte de cette limitation. Par exemple, évaluer l'effet d'une réduction de l'espacement des poutrelles, surtout dans les zones où les efforts de cisaillement sont importants;
- Le type de pontage utilisé influence de façon importante le coût de la toiture. Il existe plusieurs configurations de connecteurs utilisant le pontage de type 22 qui sont moins coûteuses pour un même niveau de résistance.;
- La nécessité de pré-percer avant l'installation d'un connecteur influence grandement les coûts. Le pré-perçage augmente en moyenne le coût de 2.23 \$/m². Son influence est grande même dans une configuration Optimisée où son coût est un des facteurs qui amène l'utilisation des vis SST-HJ. Les résultats de la recherche ne permettent pas de confirmer si un pré-perçage est requis pour les vis étudiées dans un contexte in-situ;
- Le choix du connecteur a une grande influence sur le coût d'un projet :
 - Le connecteur Rothoblaas TBS-6x80 a un coût unitaire tellement élevé par rapport aux autres types de connecteurs (de l'ordre de 2.5 fois avec la vis SST-HJ et de 32 fois avec le clou) que son utilisation doit être justifiée par la présence d'efforts critiques ne pouvant être repris par les autres types de connecteurs. Le

coût lié à l'utilisation d'un connecteur Rothoblaas ($2.29 \text{ \$/m}^2$) est du même ordre de grandeur que le coût du pré-perçage ($2.06 \text{ \$/m}^2$) ou le changement de type de pontage de 22 à 20 ($1.65 \text{ \$/m}^2$);

- Le connecteur Simpson's Strong-Tie HJ a un coût unitaire relativement faible et, considérant sa facilité d'installation et sa résistance appréciable, il est considéré comme le choix recommandé. Il coûte moins cher d'utiliser uniquement des vis SST-HJ ($0.50 \text{ \$/m}^2$) que d'utiliser uniquement des clous ($0.87 \text{ \$/m}^2$), puis que ceux-ci demande l'utilisation du pontage de type 20 près des contreventements;
- Le clou de toit a un coût unitaire suffisamment faible pour être négligeable dans le coût total du bâtiment. Un coût de l'ordre de 200 \$ a été évalué pour le bâtiment type. Par contre sa faible résistance limite son utilisation;
- L'utilisation de plusieurs types de connecteurs pour différentes zones de diaphragme permet de faire des économies. Par contre, les coûts inhérents à gérer la complexité d'utiliser plusieurs types de connecteurs dans un même projet n'a pas été évaluée;
- Les diaphragmes acier-bois sont aussi rigides que leur équivalent acier-acier. L'analyse n'a pas pu comparer l'effet de la rigidité sur la conception, puisqu'elle n'a pas contrôlé la conception du bâtiment type;
- La subdivision du toit en sous sections ayant des propriétés différentes influence le coût d'un projet. Pour cette recherche la toiture a été divisée en 5 sections. D'autres méthodes de subdivisions sont possibles mais n'ont pas été évaluées;
- Il serait extrêmement intéressant de faire plus de recherches sur l'éventualité de se servir des toitures acier-bois comme élément ductile afin de réduire les efforts sismiques dans les diaphragmes tel que permis dans la conception des charpentes d'acier (CNBC 2015 art. 4.1.8.15 2) [15]). De plus, la méthode de conception d'un assemblage avec une vis dans la norme CSA O86-14 [4] (article 12.11.4) devrait être étudiée pour savoir si le facteur J_D pour la construction d'un diaphragme devrait être inclus. La recherche suggère que les vis en diaphragme se comportent similairement à des clou en diaphragme et les justificatifs de J_D sont aussi présents.

6. CONCLUSION

L'un des objectifs principaux de ce mémoire était d'identifier les types de connecteurs optimaux pour joindre un pontage d'acier à une charpente en bois. Le clou à pontage de toit commun #11 de 1,5 po, la vis Simpson's Strong Tie HJ et la vis Rothoblaas TBS 6x80 ont tous démontrés des aptitudes intéressantes à remplir cette tâche. Le clou de pontage, malgré sa faible performance mécanique, peut s'avérer très utile dans les zones où l'effort tranchant dans le diaphragme de toit est peu élevé, vu son faible coût et sa facilité d'installation. Dans les zones où l'effort tranchant est modérément élevé, l'utilisation de la vis Simpson's Strong Tie HJ, qui allie faible coût d'installation et performance mécanique, est préconisée. De plus, elle intègre un joint d'EPDM ce qui améliore la distribution des efforts et ajoute de l'imperméabilité. La vis Rothoblaas TBS 6x80, considérant sa performance mécanique accrue et son coût d'installation sensiblement plus élevé que les autres connecteurs, représente un bon choix pour résister aux efforts tranchants élevés dans les zones critiques généralement situées à la jonction du toit et des baies contreventées. Tous les connecteurs étudiés ont présentés une forme de tête qui simule l'effet d'une rondelle en ayant une tête relativement large et plate, ce qui réduit l'influence de l'arrachement et de poinçonnement.

Le mémoire propose une méthodologie de conception de diaphragme hybride acier-bois où il a été démontré que la méthode MCA modifiée présentée par Aguilera [1] est désuète pour la résistance latérale des assemblages entre un pontage d'acier et une charpente en bois. La méthode de conception des diaphragmes en acier proposée par le manuel SDI-DDM04 [3] s'est avérée en partie applicable et adaptable à des diaphragmes hybrides acier-bois. Cette approche de conception est décrite en détail dans le mémoire. Par contre, une modification à la norme CSA O86-14 [4] est recommandé. Le facteur J_D , appliqué à la résistance d'un clou s'il est dans un diaphragme devrait aussi être présent pour le calcul des vis en diaphragme. Ce facteur provient de la réduction de la variabilité des résistances en raison du grand nombre de connecteur, ce qui s'applique autant aux clous qu'au vis.

Lors de l'analyse des résultats d'essais, il a été démontré que la méthode d'évaluation de la résistance des assemblages acier-bois proposée par la norme CSA O86-14 prédit bien le niveau de résistance élastique des assemblages testés. Il est donc recommandé d'utiliser la norme

CSA O86-14 pour déterminer la résistance des assemblages acier-bois dans un contexte de conception. Par contre, les méthodes d'évaluation de la rigidité des assemblages proposées dans la littérature donnent des résultats différents d'une méthode à l'autre. Une méthode dérivée de l'équation de la déformation d'un diaphragme de bois sur charpente de bois utilisant des clous de la norme CSA O86-14 a été développée pour évaluer la rigidité. Celle-ci produit des résultats similaires à la méthode de calcul de la rigidité proposée par l'Eurocode 5 [10] sans pouvoir déterminer laquelle permet d'obtenir les meilleurs résultats. Ce mémoire n'a pas pu vérifier une méthode rationnelle d'évaluation de la rigidité des assemblages à cause de la très grande variabilité des résultats obtenus lors des essais. Par contre, considérant que la rigidité des diaphragmes acier-bois est contrôlée par la flexibilité du pontage métallique, les diaphragmes acier-bois présentent des rigidités globales similaires à celles de diaphragmes acier-acier équivalents. Lors de l'analyse des résultats expérimentaux d'essais de connexions, un besoin de mieux définir la méthode pour déterminer la résistance élastique et la rigidité élastique a été rencontré. Les méthodes proposées dans la littérature se sont avérées inadéquates et une adaptation de la méthode du 5% du diamètre est proposée.

Pour la conception de toitures hybrides acier-bois, l'analyse économique a révélé qu'il faut éviter le pré-perçage et l'utilisation de pontages épais pour fins d'économie. Pour prévenir le pré-perçage, il faudrait utiliser des connecteurs auto-perçants. La conception d'un connecteur spécifique ayant cette propriété et les propriétés mécaniques désirées serait d'une grande utilité. En ce qui concerne l'épaisseur des pontages, il a été démontré lors de l'analyse économique qu'il n'est pas économiquement rentable d'épaissir le pontage pour tenter d'économiser sur le nombre de connecteurs. Il est également important de noter que la plage de résistance au cisaillement d'un diaphragme acier-bois est nettement inférieure à celle d'un diaphragme en acier seulement et que les portées libres entre les SRFS dans un bâtiment avec un diaphragme hybride sont nécessairement plus courtes pour une charge de conception donnée.

Ce mémoire démontre que l'utilisation de diaphragme en pontage d'acier sur charpente de bois est réaliste et réalisable. Il serait fortement recommandé d'effectuer des essais à grande échelle en laboratoire pour déterminer si les conclusions fondées sur les résultats d'essais à petite échelle qui ont conduit à l'élaboration des tables de conception présentées à l'Annexe D sont vérifiables dans un contexte global. L'Annexe F présente un prototype de banc d'essai qui pourrait être

utilisé à cette fin. De plus, des essais cycliques de connecteurs à petite échelle et de pontages à grande échelle devraient être envisagés afin de déterminer la ductilité d'un diaphragme de toit acier-bois dans un contexte sismique. Ceci permettrait peut-être d'utiliser les diaphragmes de toit comme éléments dissipatifs lors d'un séisme tel que décrit par l'article 4.1.8.15.2 du CNBC 2015 [15] qui permet ce type de conception dans les charpentes d'acier. Cette approche réduirait considérablement les efforts de conception dans le diaphragme qui serait maintenant conçu à l'élastique sous des charges de vent.

7. RÉFÉRENCES

- [1] Aguilera D. (2014). *Development of Strength and Stiffness design values for steel-clad, wood-framed diaphragms*. Mémoire de maîtrise, Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering, Pullman, Washington, U.S., 118 p.
- [2] Luttrell L. D. et Mattingly J. A (2004). *A Primer on Diaphragm Design*. Metal Construction Association, Glenview, Illinois, U.S., 166 p.
- [3] Luttrell L. D. (1981). *Diaphragm Design Manual no. DDM04*. Steel Deck Institute West Virginia University; Civil, Architectural and Environmental Engineering; Wei-Wen Yu Center for Cold-Formed Steel Structures, Morgantown, West Virginia, U.S., 408 p.
- [4] Groupe CSA (2015). *CSA O86-14 Règles de calcul des charpentes en bois* (Norme). Groupe CSA, Toronto, Ontario, Canada, 241 p.
- [5] Johansen K. W. (1949). Theory of timber connections. *IABSE publications*, vol. 9, p. 249–262.
- [6] Whale L. R. J., Smith I. et Larsen H. J. (1987). Design of Nailed and bolted joints proposals for the revision of existing formulae in draft Eurocode 5 and the CIB code. Dans *International council for building research, Studies and Documentation. Working commission W18–Timber Structures.*, p. 20–7–1.
- [7] Groupe CSA (2017). *Commentary on CSA O86, Engineering Design in Wood, 2014 ed* (Commentaire de Norme). Groupe CSA, Toronto, Ontario, Canada, 129 p.
- [8] American Wood Council (1995). *National Design Specification for Wood Construction, 1995 ed* (Norme). American Wood Council, Washington D.C., U.S., 174 p.
- [9] American Wood Council (2015). *National Design Specification for Wood Construction, 2015 ed* (Norme). American Wood Council, Washington D.C., U.S., 202 p.
- [10] Comité européen de normalisation (2008). *Eurocode 5 : Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings* (Norme). Comité européen de normalisation, Brussels, Belgique, 123 p.
- [11] ASTM Standard (2015). *D5652-15 Standard Test Methods for Single-Bolt Connections in Wood and Wood-Based Products* (Norme). ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S., 6 p.
- [12] ASTM Standard (2013). *D5764-13 Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products* (Norme). ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S., 5 p.
- [13] Muñoz W. et Mohammad M., Salenikovich A. et Quenneville P. (2008). Determination of yield point and ductility of timber assemblies: in search for a harmonised approach. Dans *10th World Conference on Timber Engineering 2008*, vol. 2. Engineered Wood Products Association, Miyazaki, Japon, p. 1064-1071.
- [14] Comité européen de normalisation (1991). *EN 26891 Timber structures - Joints made with mechanical fasteners - General principles for the determination of strength and deformation characteristics* (Norme). Comité européen de normalisation, Brussels, Belgique, 5 p.
- [15] Conseil national de recherches Canada (2015). *Code national du bâtiment du Canada - Partie 4, 2015 ed* (Norme). Conseil national de recherches Canada, Ottawa, Ontario, Canada, 138 p.
- [16] ASTM Standard (2012). *D1761-12 Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood* (Norme). ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S., 10 p.

- [17] Simpson Strong-Tie (2014). *Simpson Strong-Tie Wood Construction Connectors* (Catalogue technique). Simpson Strong-Tie, Brampton, Ontario, Canada.
- [18] Illinois Tool Works (janvier 2015). *ITW Construction products*. www.grkfasteners.com (page consulté le 20 janvier 2015)
- [19] Hilti (janvier 2015). *Hilti home page*. www.hilti.ca (page consulté le 20 janvier 2015)
- [20] SFS Intec (janvier 2015) *SFS Timber anchors*. sfsintec.ca (page consulté le 20 janvier 2015)
- [21] Rothoblaas (2016). *Screws for Wood Catalog* (Catalogue technique). Rothoblaas, Cortaccia, Italie, 276 p.
- [22] Simpson Strong-Tie (2015). *HJ Catalog* (Catalogue technique). Simpson Strong-Tie, Brampton, Ontario, Canada, 2 p.
- [23] Simpson Strong-Tie (janvier 2015). *PCULP Screws Technical Data*. www.strongtie.com/products/fasteners/pc-pcsd-pculp_techdata (page consulté le 20 janvier 2015)
- [24] Illinois Tool Works (janvier 2015). *ITW R4 Specs*. www.grkfasteners.com/tech-data/specs/r4 (page consulté le 20 janvier 2015)
- [25] Illinois Tool Works (janvier 2015). *ITW RSS Specs*. www.grkfasteners.com/tech-data/specs/rss (page consulté le 20 janvier 2015)
- [26] Groupe CSA (2010). *CSA S16-09 Design of steel structures* (Norme). Groupe CSA, Toronto, Ontario, Canada, 234 p.
- [27] Groupe Canam (2015). *Tablier métallique en diaphragme* (Catalogue technique). Groupe Canam, Saint-Georges, Québec, Canada, 108 p.
- [28] Groupe Canam (2013). *Catalogue Tablier métallique* (Catalogue technique). Groupe Canam, Saint-Georges, Québec, Canada, 38 p.
- [29] ASTM Standard (2009). *E8/E8M-09 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials* (Norme). ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S., 27 p.
- [30] ASTM Standard (2014). *D2395-14 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials* (Norme). ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S., 13 p.
- [31] ASTM Standard (2016) *D4442-16 Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials* (Norme). ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S., 6 p.
- [32] American Wood Council (2012). *Supplement National Design Specification for Wood Construction, 2012 ed* (Norme). American Wood Council, Washington D.C., U.S., p. 61
- [33] American Iron and Steel Institute (2016). *S310-16 North American Standard for the Design of Profiled Steel Diaphragm Panels with Commentary* (Norme). American Steel and Iron Institute, Washington D.C., U.S., 187 p.
- [34] Tremblay R., Rogers C. A., Essa H. S. et Martin E. (2002). Dissipating seismic input energy in low-rise steel buildings through inelastic deformations in the metal roof deck diaphragm. Dans Canadian Society for Civil Engineering, *30th Annual Conference: 2002 Challenges Ahead, June 5, 2002 - June 8, 2002*, vol. 2002. Canadian Society for Civil Engineering, Montréal, Québec, Canada, p. 2221–2230.

ANNEXE A. RÉSULTATS D'ESSAIS D'ENFONCEMENT DU BOIS

A.1. Essais Vitesse 0.1 mm/min

Essais retirés : Aucun

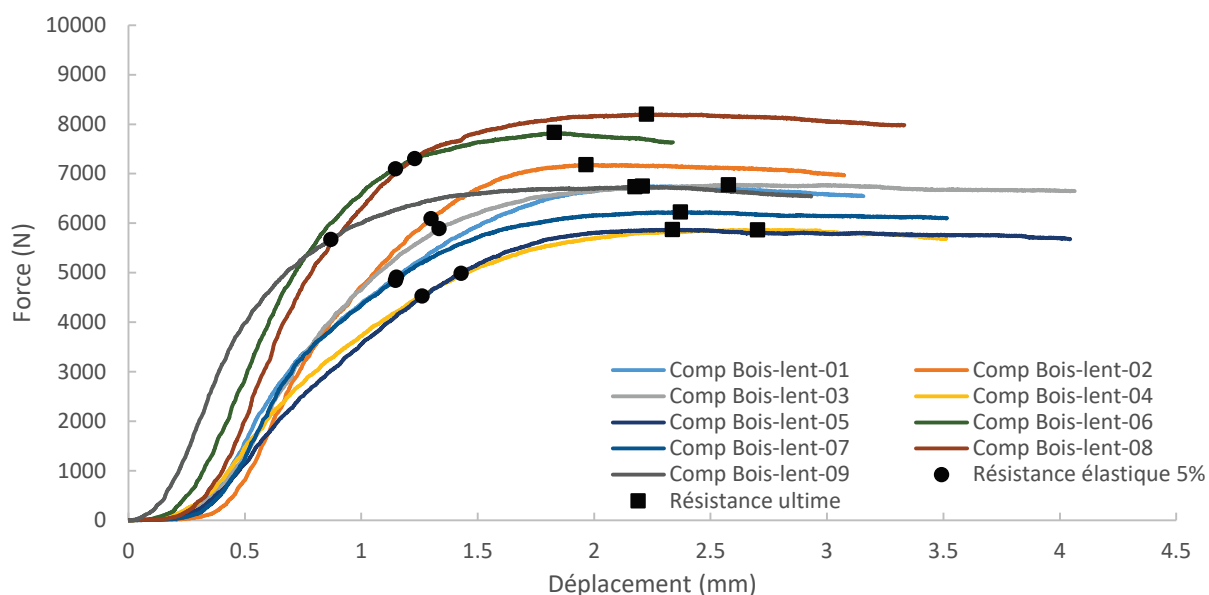


Figure A.1-1 : Courbe force-déplacement : Enfoncement à 0.1 mm/min

Tableau A.1-1 : Essai enfoncement du bois à 0.1 mm/min

	F_{ult} (N)	u_{ult} (MM)	F_y (N)	u_y (mm)	k_{10-40} (kN/mm)	Taux d'humidité (%)	Densité relative à l'essai	Densité relative à sec
1	6752	2.21	4913	1.15	8.10	10%	0.37	0.39
2	7184	1.96	6091	1.30	9.31	10%	0.40	0.41
3	6776	2.58	5894	1.33	7.50	10%	0.37	0.38
4	5865	2.70	4528	1.26	5.94	10%	0.29	0.30
5	5873	2.34	4990	1.43	5.56	10%	0.29	0.30
6	7835	1.83	7098	1.15	10.32	10%	0.41	0.43
7	6226	2.37	4845	1.15	8.53	10%	0.32	0.33
8	8201	2.23	7309	1.23	10.60	10%	0.39	0.40
9	6739	2.18	5673	0.87	11.07	10%	0.37	0.38
Moy.	6828	2.26	5705	1.21	8.55	10%	0.36	0.37
CV	11.9%	12.1%	17.5%	13.1%	23.1%	2.5%	12.6%	12.8%

A.2. Essais Vitesse 1 mm/min

Essais retirés : 1 et 7

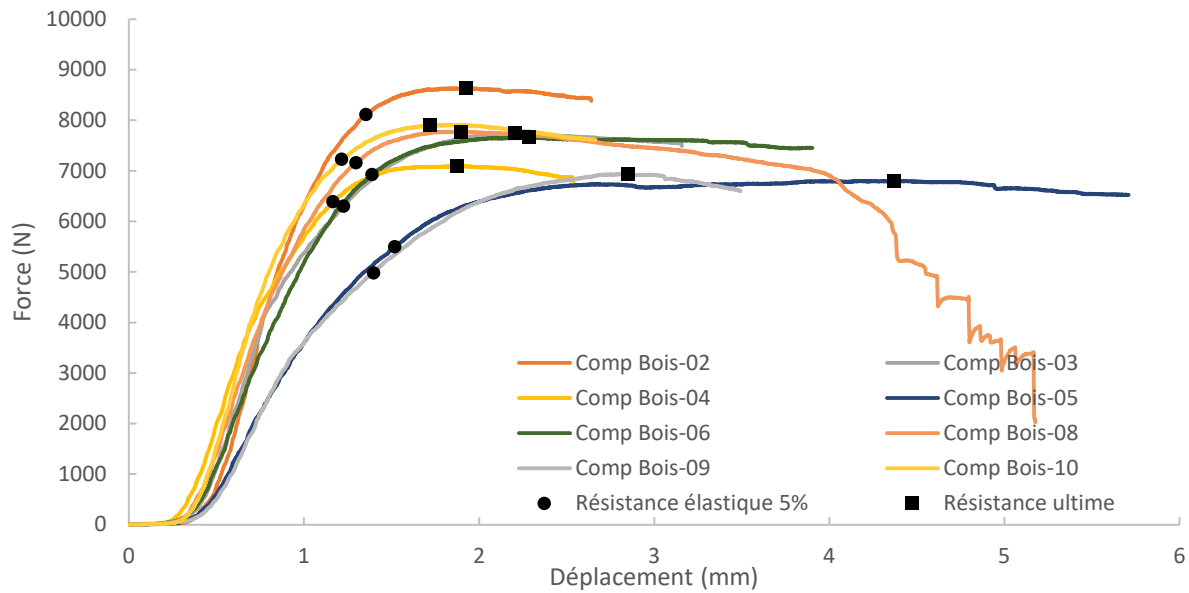


Figure A.2-1 : Courbe force-déplacement : Enfoncement à 1 mm/min

Tableau A.2-1 : Essai enfoncement du bois à 1 mm/min

	F_{ult} (N)	u_{ult} (mm)	F_y (N)	u_y (mm)	k_{10-40} (kN/mm)	Taux d'humidité (%)	Densité relative à l'essai	Densité relative à sec
2	8637	1.92	8117	1.35	12.07	10%	0.44	0.46
3	7750	2.21	6305	1.23	10.53	10%	0.40	0.42
4	7096	1.87	6389	1.17	10.25	11%	0.36	0.40
5	6804	4.37	5503	1.52	6.30	10%	0.34	0.35
6	7660	2.29	6929	1.39	8.88	10%	0.37	0.38
8	7777	1.90	7161	1.30	10.20	11%	0.38	0.38
9	6942	2.85	4984	1.40	6.87	10%	0.37	0.39
10	7912	1.72	7231	1.21	11.79	10%	0.38	0.40
Moy.	7572	2.39	6577	1.32	9.61	10%	0.38	0.40
CV	8.0%	36.5%	15.3%	8.8%	22.1%	2.3%	7.4%	7.7%

A.3. Essais Vitesse 10 mm/min

Essais retirés : Aucun

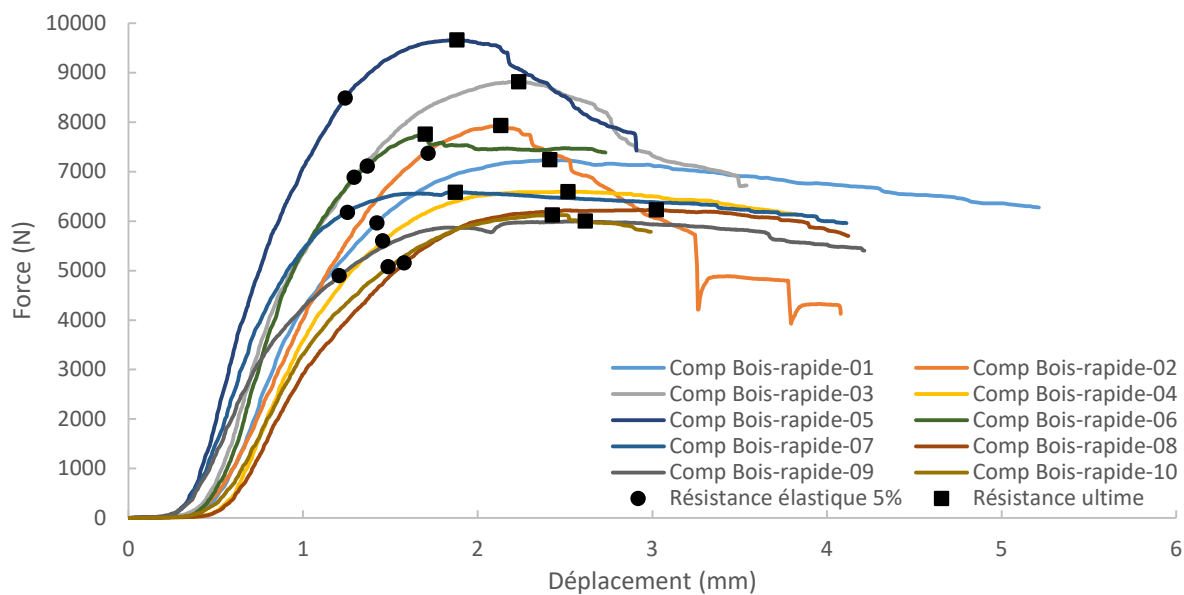


Figure A.3-1 : Courbe force-déplacement : Enfoncement à 10 mm/min

Tableau A.3-1 : Essai enfoncement du bois à 10 mm/min

	F_{ult} (N)	u_{ult} (mm)	F_y (N)	u_y (mm)	k_{10-40} (kN/mm)	Taux d'humidité (%)	Densité relative à l'essai	Densité relative à sec
1	7241	2.41	5964	1.42	8.49	10%	0.35	0.37
2	7932	2.13	7371	1.72	7.35	10%	0.35	0.37
3	8816	2.24	6890	1.29	11.14	10%	0.38	0.40
4	6599	2.52	5607	1.46	8.45	10%	0.36	0.37
5	9662	1.88	8492	1.24	12.85	10%	0.41	0.42
6	7760	1.70	7117	1.37	10.72	10%	0.44	0.46
7	6585	1.87	6176	1.25	9.05	10%	0.35	0.35
8	6233	3.02	5158	1.58	6.52	10%	0.32	0.33
9	6005	2.62	4901	1.21	7.55	10%	0.34	0.35
10	6128	2.43	5078	1.49	6.59	10%	0.36	0.38
Moy.	7296	2.28	6275	1.40	8.87	10%	0.37	0.38
CV	16.9%	17.6%	18.6%	11.6%	23.6%	2.7%	9.5%	10.1%

ANNEXE B. TABLEAUX DES RÉSULTATS D'ESSAIS

B.1. Essais Clou toit #11 1-1/2-20

Essais retirés : Aucun

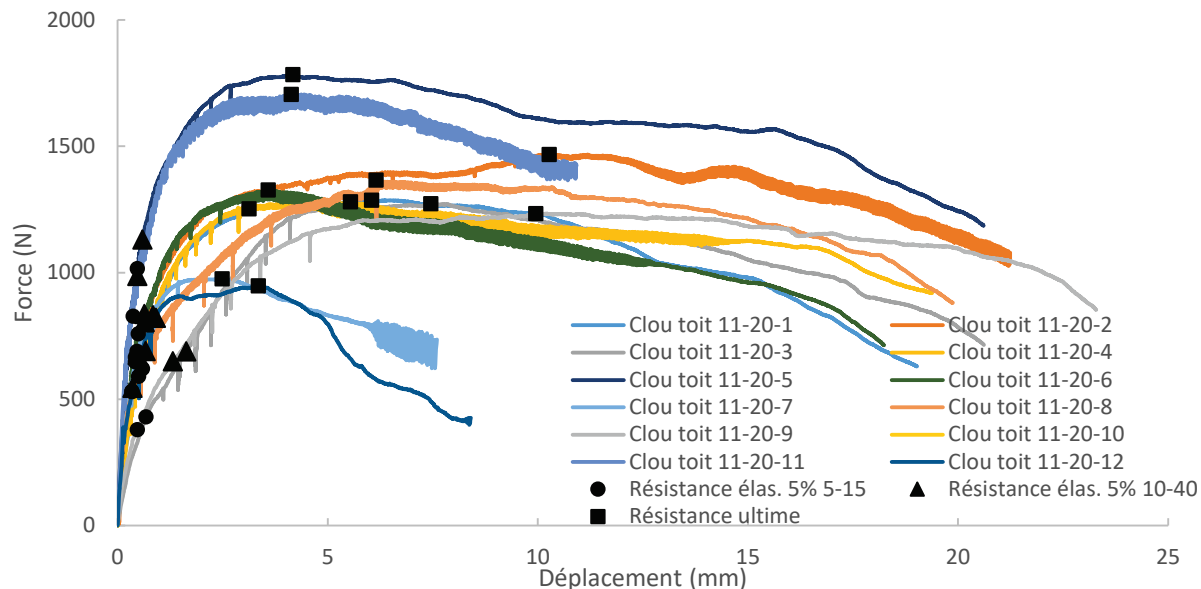


Figure B.1-1 : Courbe force-déplacement : essais Clou toit #11 1-1/2-20

Tableau B.1-1 : Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-20

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
1	1287	590	719	822	930	735
2	1468	689	721	805	814	866
3	1273	430	725	689	748	527
4	1281	621	761	832	792	656
5	1783	1016	985	1132	1053	995
6	1327	759	734	837	765	558
7	976	648	625	675	654	541
8	1367	531	473	691	647	677
9	1234	379	465	650	841	567
10	1253	666	686	804	830	714
11	1705	828	706	987	524	890
12	948	530	510	545	546	466
MOY.	1325	641	676	789	762	683
CV	18.5%	27.2%	21.4%	20.0%	20.0%	24.1%

Tableau B.1-2 : Déplacement élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-20

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
1	6.04	0.50	0.41	0.91	0.79	0.74
2	10.27	0.46	0.35	0.64	0.49	0.77
3	7.45	0.68	0.87	1.64	1.47	1.03
4	5.54	0.59	0.50	0.84	0.62	0.58
	4.17	0.47	0.29	0.59	0.38	0.44
6	3.59	0.50	0.32	0.64	0.40	0.30
7	2.49	0.43	0.26	0.47	0.30	0.29
8	6.15	0.34	0.18	0.67	0.44	0.64
9	9.95	0.47	0.38	1.32	1.37	0.97
10	3.13	0.42	0.28	0.63	0.47	0.49
11	4.14	0.37	0.18	0.47	0.15	0.35
12	3.35	0.34	0.18	0.36	0.20	0.26
MOY.	5.52	0.46	0.35	0.76	0.59	0.57
CV	46.9%	21.2%	55.0%	48.6%	72.2%	45.9%

Tableau B.1-3 : Ductilité : essais Clou toit #11 1-1/2-20

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
1	12.08	14.66	6.64	7.62	8.22
2	22.28	29.76	15.97	20.92	13.41
3	11.03	8.53	4.56	5.06	7.24
4	9.41	11.12	6.60	8.96	9.54
5	8.94	14.28	7.09	11.09	9.39
6	7.25	11.17	5.63	8.90	12.08
7	5.86	9.69	5.25	8.42	8.47
8	18.10	34.35	9.20	14.10	9.68
9	21.21	26.03	7.55	7.24	10.22
10	7.38	11.00	4.96	6.61	6.37
11	11.18	23.49	8.82	27.22	11.68
12	9.91	18.72	9.38	17.08	12.78
MOY.	12.58	17.73	7.64	11.94	9.92
CV	47.0%	48.9%	40.5%	56.1%	22.2%

Tableau B.1-4 : Sur-résistance inélastique : essais Clou toit #11 1-1/2-20

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
1	2.18	1.79	1.57	1.38	1.75
2	2.13	2.04	1.82	1.80	1.70
3	2.96	1.76	1.85	1.70	2.42
4	2.06	1.68	1.54	1.62	1.95
5	1.75	1.81	1.58	1.69	1.79
6	1.75	1.81	1.59	1.74	2.38
7	1.51	1.56	1.45	1.49	1.80
8	2.57	2.89	1.98	2.11	2.02
9	3.26	2.66	1.90	1.47	2.18
10	1.88	1.83	1.56	1.51	1.75
11	2.06	2.42	1.73	3.25	1.92
12	1.79	1.86	1.74	1.73	2.03
MOY.	2.16	2.01	1.69	1.79	1.97
CV	24.2%	20.8%	10.0%	27.8%	12.3%

Tableau B.1-5 : Valeurs de rigidité : essais : Clou toit #11 1-1/2-20

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
1	1.67	1.88	0.76	0.66
2	2.19	2.63	0.80	0.71
3	0.81	0.92	0.34	0.30
4	1.46	1.66	0.84	0.74
5	3.19	3.83	1.48	1.29
6	2.17	2.54	0.96	0.85
7	2.33	2.63	1.27	1.13
8	2.73	3.07	0.47	0.42
9	1.17	1.35	0.34	0.30
10	2.40	2.82	1.05	0.92
11	4.00	4.64	1.42	1.26
12	2.77	3.15	1.17	1.03
MOY.	2.24	2.60	0.91	0.80
CV	39.6%	40.3%	42.9%	43.0%

B.2. Essais Clou toit #11 1-1/2-22

Essais retirés : 1, 2, 3, 4, 5

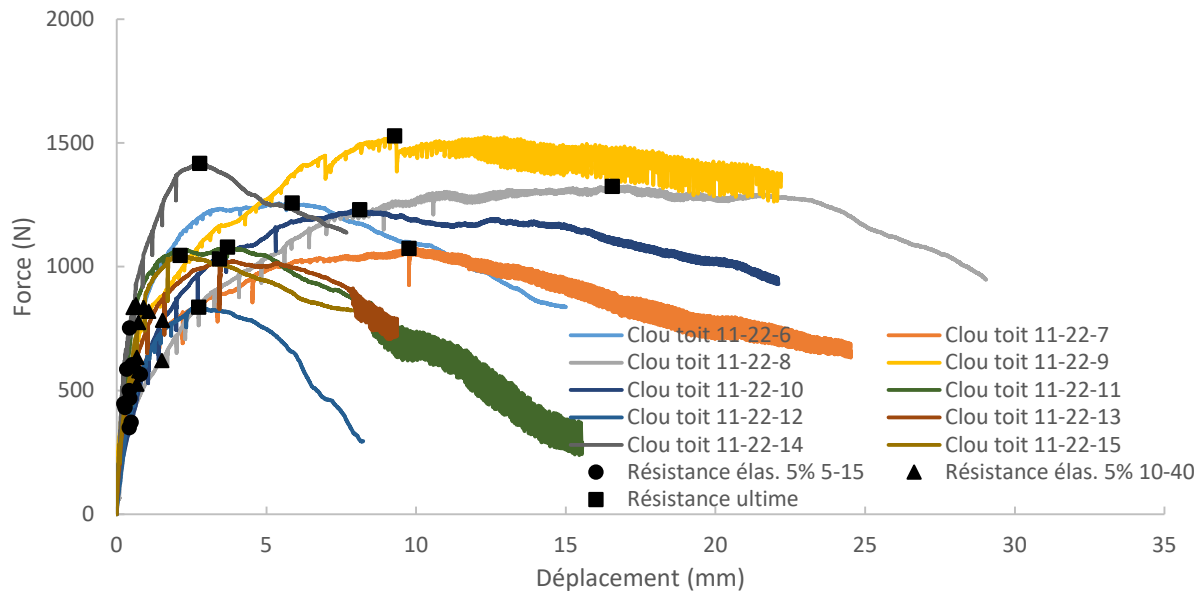


Figure B.2-1 : Courbe force-déplacement : essais Clou toit #11 1-1/2-22

Tableau B.2-1 : Résistance élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-22

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
6	1257	604	726	835	864	711
7	1074	468	451	579	572	597
8	1324	350	360	621	537	690
9	1529	446	294	820	765	691
10	1230	372	592	784	830	727
11	1079	586	616	847	795	581
12	836	565	612	525	578	415
13	1031	499	509	634	662	567
14	1418	753	762	835	850	760
15	1045	431	408	774	801	541
MOY.	1182	507	533	725	725	628
CV	17.6%	24.0%	29.1%	16.8%	17.4%	16.9%

Tableau B.2-2 : Déplacement élastique et ultime : essais Clou toit #11 1-1/2-22

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
6	5.86	0.52	0.43	0.90	0.71	0.66
7	9.77	0.44	0.26	0.74	0.51	0.83
8	16.55	0.42	0.31	1.50	0.99	1.84
9	9.29	0.23	0.04	1.07	0.68	0.68
10	8.12	0.49	0.52	1.53	1.32	1.32
11	3.70	0.33	0.19	0.65	0.43	0.33
12	2.74	0.79	0.67	0.68	0.56	0.45
13	3.44	0.41	0.26	0.67	0.49	0.52
14	2.77	0.43	0.27	0.55	0.37	0.41
15	2.12	0.28	0.12	0.73	0.54	0.41
MOY.	6.43	0.43	0.31	0.90	0.66	0.75
CV	70.8%	35.5%	61.9%	39.5%	44.0%	64.2%

Tableau B.2-3 : Ductilité : essais Clou toit #11 1-1/2-22

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
6	11.35	13.67	6.54	8.27	8.87
7	22.04	38.29	13.18	19.09	11.77
8	39.78	53.40	11.00	16.71	9.02
9	40.20	240.53	8.71	13.62	13.72
10	16.67	15.55	5.29	6.13	6.15
11	11.12	19.73	5.73	8.61	11.22
12	3.46	4.08	4.04	4.87	6.03
13	8.32	13.46	5.10	6.95	6.56
14	6.47	10.41	5.05	7.55	6.74
15	7.56	17.70	2.90	3.89	5.11
MOY.	16.70	42.68	6.76	9.57	8.52
CV	80.0%	166.4%	47.9%	53.7%	34.0%

Tableau B.2-4 : Sur-résistance inélastique : essais Clou toit #11 1-1/2-22

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
6	2.08	1.73	1.51	1.45	1.77
7	2.29	2.38	1.85	1.88	1.80
8	3.78	3.68	2.13	2.47	1.92
9	3.43	5.21	1.86	2.00	2.21
10	3.31	2.08	1.57	1.48	1.69
11	1.84	1.75	1.27	1.36	1.86
12	1.48	1.37	1.59	1.45	2.01
13	2.07	2.02	1.63	1.56	1.82
14	1.88	1.86	1.70	1.67	1.87
15	2.42	2.56	1.35	1.30	1.93
MOY.	2.46	2.46	1.65	1.66	1.89
CV	31.5%	46.8%	15.5%	21.6%	7.7%

Tableau B.2-5 : Valeurs de rigidité : essais : Clou toit #11 1-1/2-22

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
6	1.63	1.90	1.12	1.14
7	1.59	1.81	0.98	0.98
8	1.30	1.50	0.46	0.46
9	5.43	6.32	0.89	0.91
10	1.09	1.28	0.57	0.57
11	3.14	3.60	1.70	1.74
12	0.88	1.01	0.99	1.01
13	1.88	2.08	1.20	1.22
14	2.69	3.22	2.07	2.12
15	3.23	3.58	1.33	1.34
MOY.	2.29	2.63	1.13	1.15
CV	60.4%	60.9%	43.0%	43.4%

B.3. Essais ITW-R4-20

Essais retirés : 5

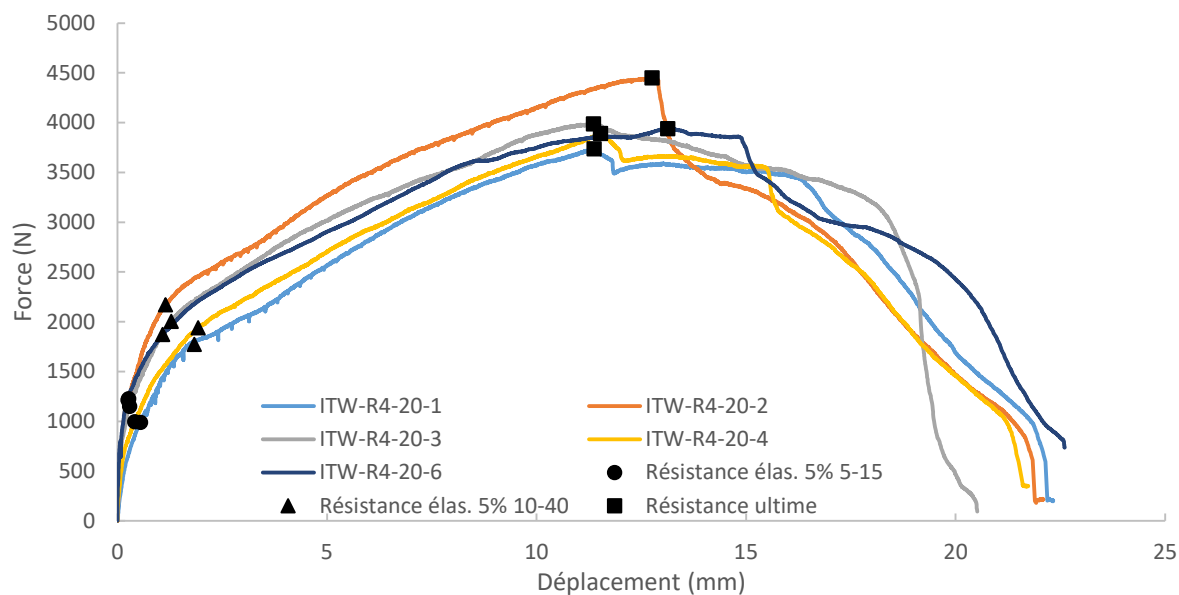


Figure B.3-1 : Courbe force-déplacement : essais ITW-R4-20

Tableau B.3-1 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-R4-20

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
1	3736	989	991	1773	1996	1523
2	4450	1227	645	2170	1733	2054
3	3989	1151	735	2003	1774	1731
4	3892	995	966	1941	1569	1801
6	3941	1213	878	1871	1803	1900
MOY.	4002	1115	843	1952	1775	1802
CV	6.7%	10.4%	17.7%	7.6%	8.6%	11.0%

Tableau B.3-2 : Déplacement élastique et ultime : essais ITW-R4-20

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
1	11.37	0.55	0.36	1.83	1.62	1.21
2	12.76	0.27	0.06	1.15	0.64	0.97
3	11.36	0.29	0.09	1.29	0.82	0.86
4	11.53	0.42	0.22	1.93	1.13	1.58
6	13.13	0.25	0.06	1.08	0.72	1.13
MOY.	12.03	0.35	0.16	1.45	0.99	1.15
CV	7.1%	35.9%	82.9%	27.2%	40.8%	23.9%

Tableau B.3-3 : Ductilité : essais ITW-R4-20

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
1	20.64	31.23	6.21	7.00	9.38
2	48.15	201.29	11.10	19.89	13.14
3	39.17	126.94	8.84	13.88	13.16
4	27.71	52.93	5.98	10.19	7.30
6	52.11	221.27	12.15	18.31	11.58
MOY.	37.55	126.73	8.86	13.85	10.91
CV	35.5%	67.3%	31.5%	39.0%	23.3%

Tableau B.3-4 : Sur-résistance inélastique : essais ITW-R4-20

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
1	3.78	3.77	2.11	1.87	2.45
2	3.63	6.90	2.05	2.57	2.17
3	3.47	5.42	1.99	2.25	2.30
4	3.91	4.03	2.01	2.48	2.16
6	3.25	4.49	2.11	2.19	2.07
MOY.	3.61	4.92	2.05	2.27	2.23
CV	7.2%	25.8%	2.7%	12.1%	6.7%

Tableau B.3-5 : Valeurs de rigidité : essais ITW-R4-20

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
1	2.49	5.13	1.07	1.91
2	10.34	21.85	2.17	3.87
3	8.22	16.54	1.76	3.15
4	3.75	7.89	1.09	1.97
6	11.66	24.75	2.01	3.57
MOY.	7.29	15.23	1.62	2.89
CV	55.2%	56.1%	31.6%	31.3%

B.4. Essais ITW-R4-22

Essais retirés : 2

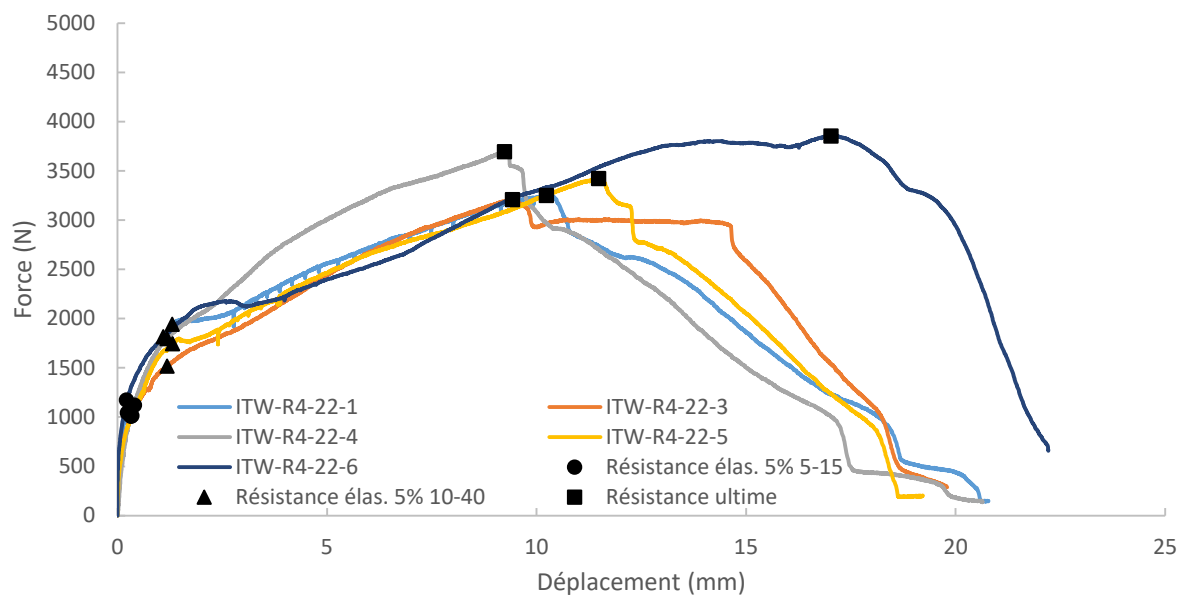


Figure B.4-1 : Courbe force-déplacement : essais ITW-R4-22

Tableau B.4-1 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-R4-22

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
1	3251	1044	712	1941	1486	1664
3	3208	1007	832	1517	1382	1456
4	3693	1123	1178	1795	1636	1743
5	3422	1013	798	1743	1452	1615
6	3855	1172	672	1815	1704	1619
MOY.	3486	1072	838	1762	1532	1619
CV	8.1%	6.8%	23.9%	8.8%	8.7%	6.5%

Tableau B.4-2 : Déplacement élastique et ultime : essais ITW-R4-22

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
1	10.23	0.24	0.05	1.30	0.69	0.93
3	9.43	0.32	0.14	1.19	0.77	1.01
4	9.23	0.41	0.27	1.18	0.80	1.06
5	11.48	0.34	0.12	1.32	0.76	0.98
6	17.03	0.22	0.03	1.09	0.69	0.70
MOY.	11.48	0.30	0.12	1.22	0.74	0.93
CV	28.1%	25.6%	78.7%	7.8%	6.6%	15.0%

Tableau B.4-3 : Ductilité : essais ITW-R4-22

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
1	42.82	213.76	7.85	14.79	10.99
3	29.36	67.75	7.94	12.30	9.38
4	22.74	34.16	7.80	11.54	8.75
5	33.46	93.30	8.73	15.10	11.69
6	79.20	609.93	15.64	24.71	24.43
MOY.	41.52	203.78	9.59	15.69	13.05
CV	53.7%	116.3%	35.5%	33.6%	49.6%

Tableau B.4-4 : Sur-résistance inélastique : essais ITW-R4-22

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
1	3.11	4.57	1.67	2.19	1.95
3	3.19	3.86	2.11	2.32	2.20
4	3.29	3.13	2.06	2.26	2.12
5	3.38	4.29	1.96	2.36	2.12
6	3.29	5.73	2.12	2.26	2.38
MOY.	3.25	4.32	1.99	2.28	2.16
CV	3.2%	22.2%	9.3%	2.9%	7.2%

Tableau B.4-5 : Valeurs de rigidité : essais ITW-R4-22

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
1	11.46	24.14	1.67	2.99
3	5.74	11.45	1.46	2.65
4	4.35	8.77	1.73	3.08
5	5.29	11.17	1.49	2.69
6	16.95	35.70	1.93	3.43
MOY.	8.76	18.25	1.66	2.97
CV	61.2%	62.8%	11.6%	10.7%

B.5. Essais ITW-RSS-20

Essais retirés : 5

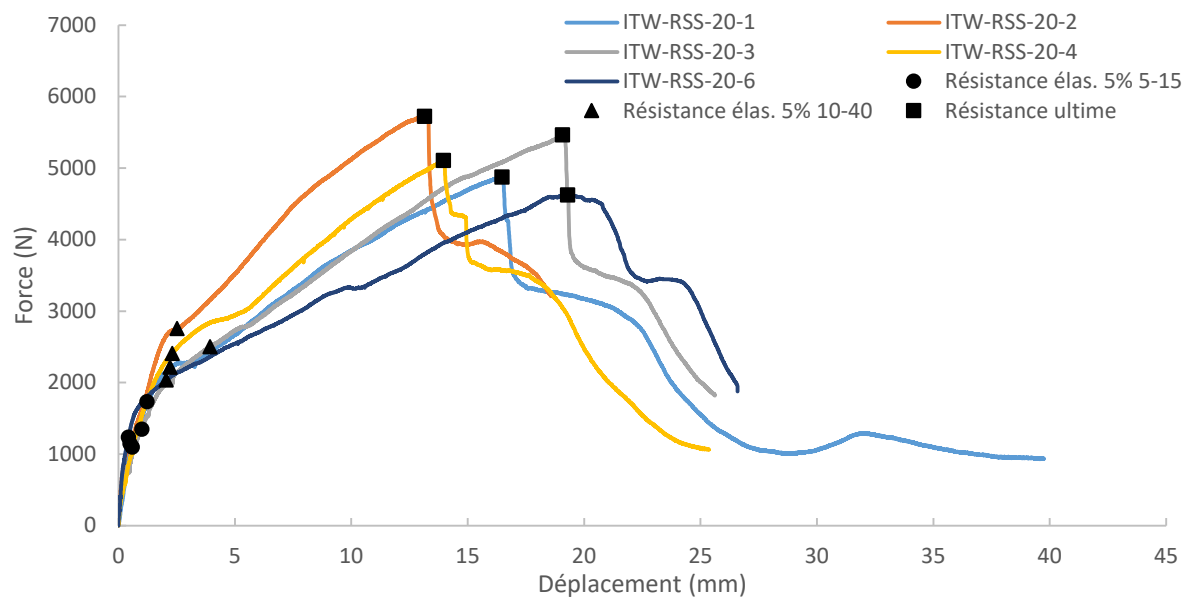


Figure B.5-1 : Courbe force-déplacement : essais ITW-RSS-20

Tableau B.5-1 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-RSS-20

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
1	4874	1099	1619	2216	2247	1938
2	5723	1148	1747	2756	2674	2600
3	5467	1349	1560	2500	2218	2201
4	5109	1731	1638	2408	2372	2036
6	4626	1235	1245	2039	1952	1969
MOY.	5160	1312	1562	2384	2293	2149
CV	8.6%	19.2%	12.1%	11.5%	11.4%	12.7%

Tableau B.5-2 : Déplacement élastique et ultime : essais ITW-RSS-20

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
1	16.47	0.59	0.69	2.22	1.87	1.55
2	13.15	0.49	0.50	2.51	1.92	1.95
3	19.07	1.00	0.87	3.94	2.70	2.70
4	13.96	1.22	0.92	2.31	1.88	1.58
6	19.29	0.42	0.28	2.06	1.49	1.82
MOY.	16.39	0.74	0.65	2.61	1.97	1.92
CV	17.3%	46.8%	41.0%	29.3%	22.5%	24.1%

Tableau B.5-3 : Ductilité : essais ITW-RSS-20

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
1	28.06	23.73	7.43	8.79	10.60
2	26.83	26.45	5.23	6.85	6.74
3	19.09	21.96	4.84	7.06	7.07
4	11.42	15.16	6.05	7.43	8.82
6	45.60	69.71	9.39	12.98	10.57
MOY.	26.20	31.40	6.59	8.62	8.76
CV	48.6%	69.5%	28.1%	29.6%	21.1%

Tableau B.5-4 : Sur-résistance inélastique : essais ITW-RSS-20

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
1	4.43	3.01	2.20	2.17	2.51
2	4.99	3.28	2.08	2.14	2.20
3	4.05	3.50	2.19	2.46	2.48
4	2.95	3.12	2.12	2.15	2.51
6	3.75	3.71	2.27	2.37	2.35
MOY.	4.03	3.32	2.17	2.26	2.41
CV	18.9%	8.6%	3.4%	6.6%	5.6%

Tableau B.5-5 : Valeurs de rigidité : essais ITW-RSS-20

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
1	2.37	4.76	1.07	1.90
2	3.36	6.76	1.17	2.07
3	1.58	3.25	0.66	1.18
4	1.61	3.34	1.12	1.99
6	4.46	8.95	1.07	1.91
MOY.	2.68	5.41	1.02	1.81
CV	46.0%	45.0%	20.0%	19.9%

B.6. Essais ITW-RSS-22

Essais retirés : 5

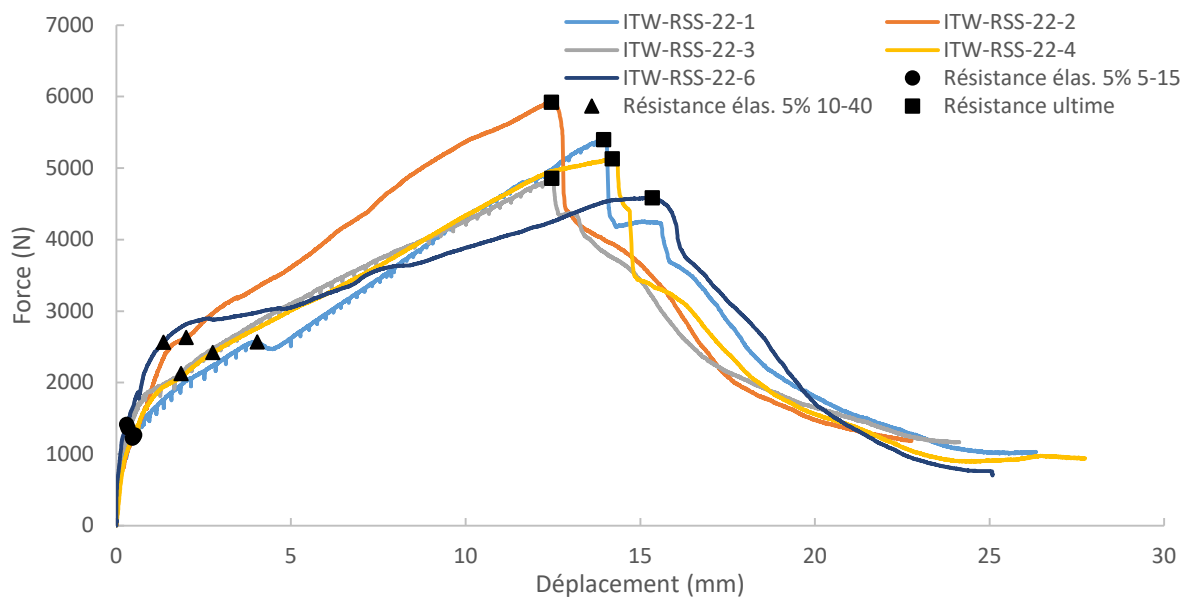


Figure B.6-1 : Courbe force-déplacement : essais ITW-RSS-22

Tableau B.6-1 : Résistance élastique et ultime : essais ITW-RSS-22

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
1	5399	1242	1060	2570	1961	1706
2	5921	1270	1221	2631	1185	2429
3	4856	1367	839	2124	2176	2130
4	5128	1224	1308	2421	2081	2140
6	4585	1415	979	2564	2000	2179
MOY.	5178	1304	1081	2462	1881	2117
CV	9.9%	6.4%	17.3%	8.3%	21.1%	12.3%

Tableau B.6-2 : Déplacement élastique et ultime : essais ITW-RSS-22

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
1	13.95	0.50	0.22	4.04	2.21	1.23
2	12.46	0.52	0.32	2.00	0.53	1.45
3	12.46	0.33	0.08	1.85	1.38	1.80
4	14.20	0.46	0.32	2.76	1.79	2.02
6	15.35	0.29	0.07	1.34	0.73	0.84
MOY.	13.68	0.42	0.20	2.40	1.33	1.47
CV	9.0%	24.8%	59.8%	43.7%	53.2%	31.7%

Tableau B.6-3 : Ductilité : essais ITW-RSS-22

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
1	28.01	63.84	3.46	6.31	11.35
2	23.96	39.03	6.23	23.55	8.58
3	38.23	151.57	6.73	9.03	6.91
4	31.20	44.24	5.14	7.93	7.03
6	52.92	207.49	11.42	21.09	18.27
MOY.	34.87	101.24	6.60	13.58	10.43
CV	32.6%	73.8%	45.1%	59.5%	45.4%

Tableau B.6-4 : Sur-résistance inélastique : essais ITW-RSS-22

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
1	4.35	5.10	2.10	2.75	3.16
2	4.66	4.85	2.25	4.99	2.44
3	3.55	5.79	2.29	2.23	2.28
4	4.19	3.92	2.12	2.46	2.40
6	3.24	4.68	1.79	2.29	2.10
MOY.	4.00	4.87	2.11	2.95	2.48
CV	14.7%	13.9%	9.3%	39.4%	16.4%

Tableau B.6-5 : Valeurs de rigidité : essais ITW-RSS-22

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
1	3.61	7.37	0.66	1.17
2	3.40	6.91	1.42	2.53
3	7.67	15.45	1.25	2.23
4	3.95	7.90	0.93	1.65
6	10.02	20.41	2.14	3.81
MOY.	5.73	11.61	1.28	2.28
CV	51.8%	52.1%	44.1%	44.0%

B.7. Essais SST-HJ-20

Essais retirés : 1

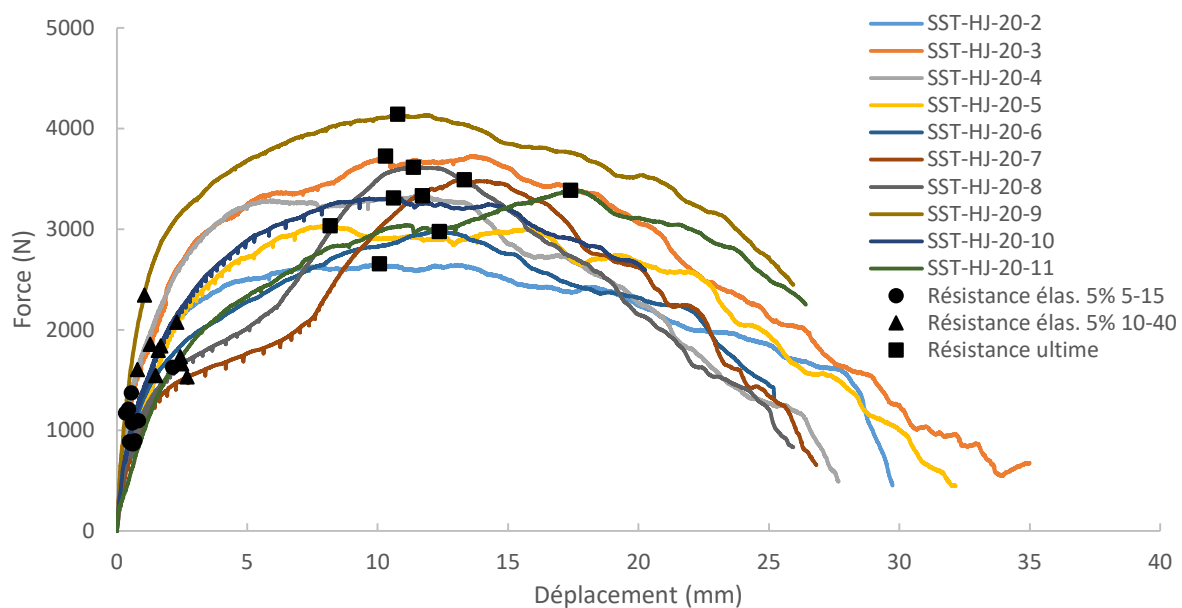


Figure B.7-1 : Courbe force-déplacement : essais SST-HJ-20

Tableau B.7-1 : Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-20

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
2	2656	1096	1745	1841	1954	1658
3	3727	1212	1311	1856	2271	1950
4	3333	1374	1513	1606	1919	1447
5	3036	866	1648	2075	2120	1257
6	2978	885	1019	1545	1618	1575
7	3493	896	1044	1530	1456	1405
8	3615	867	1032	1663	1597	1161
9	4142	1171	1527	2345	2524	2526
10	3310	1073	1456	1796	1379	1811
11	3387	1628	1625	1731	299	1957
MOY.	3368	1107	1392	1799	1714	1675
CV	12.4%	22.7%	19.7%	14.1%	36.0%	24.1%

Tableau B.7-2 : Déplacement élastique et ultime : essais SST-HJ-20

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
2	10.07	0.83	1.07	1.69	1.56	1.43
3	10.31	0.44	0.31	1.28	1.21	1.41
4	11.71	0.56	0.48	0.79	0.76	0.63
5	8.18	0.63	0.88	2.30	1.99	1.11
6	12.37	0.49	0.37	1.49	1.21	1.57
7	13.32	0.69	0.61	2.69	2.01	1.95
8	11.37	0.58	0.49	2.49	1.88	0.98
9	10.77	0.33	0.27	1.06	0.90	1.22
10	10.61	0.59	0.58	1.59	0.94	1.62
11	17.39	2.15	1.83	2.44	0.19	3.14
MOY.	11.61	0.73	0.69	1.78	1.27	1.50
CV	21.2%	70.8%	68.3%	37.1%	47.1%	45.3%

Tableau B.7-3 : Ductilité : essais SST-HJ-20

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
2	12.16	9.40	5.96	6.45	7.05
3	23.21	32.92	8.06	8.51	7.32
4	20.91	24.31	14.82	15.45	18.70
5	12.92	9.31	3.56	4.11	7.37
6	25.34	33.24	8.29	10.20	7.89
7	19.24	21.90	4.94	6.61	6.82
8	19.70	23.00	4.57	6.06	11.66
9	32.53	39.60	10.20	11.91	8.85
10	17.92	18.31	6.69	11.29	6.56
11	8.10	9.50	7.13	90.47	5.55
MOY.	19.20	22.15	7.42	17.11	8.78
CV	36.8%	48.8%	43.9%	152.0%	44.0%

Tableau B.7-4 : Sur-résistance inélastique : essais SST-HJ-20

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
2	2.42	1.52	1.44	1.36	1.60
3	3.08	2.84	2.01	1.64	1.91
4	2.43	2.20	2.08	1.74	2.30
5	3.51	1.84	1.46	1.43	2.42
6	3.36	2.92	1.93	1.84	1.89
7	3.90	3.34	2.28	2.40	2.49
8	4.17	3.50	2.17	2.26	3.11
9	3.54	2.71	1.77	1.64	1.64
10	3.08	2.27	1.84	2.40	1.83
11	2.08	2.08	1.96	11.33	1.73
MOY.	3.16	2.53	1.89	2.80	2.09
CV	21.5%	25.6%	14.6%	107.6%	22.9%

Tableau B.7-5 : Valeurs de rigidité : essais SST-HJ-20

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
2	1.60	3.28	1.19	2.13
3	4.06	8.10	1.65	3.07
4	3.34	6.96	2.49	4.46
5	1.78	3.69	0.96	1.72
6	2.60	5.30	1.15	2.06
7	1.65	3.31	0.60	1.07
8	1.99	4.07	0.71	1.27
9	6.33	12.96	2.58	4.59
10	2.42	4.97	1.25	2.24
11	0.81	1.66	0.76	1.35
MOY.	2.66	5.43	1.33	2.40
CV	59.8%	59.7%	52.7%	52.7%

B.8. Essais SST-HJ-22

Essais retirés : 2

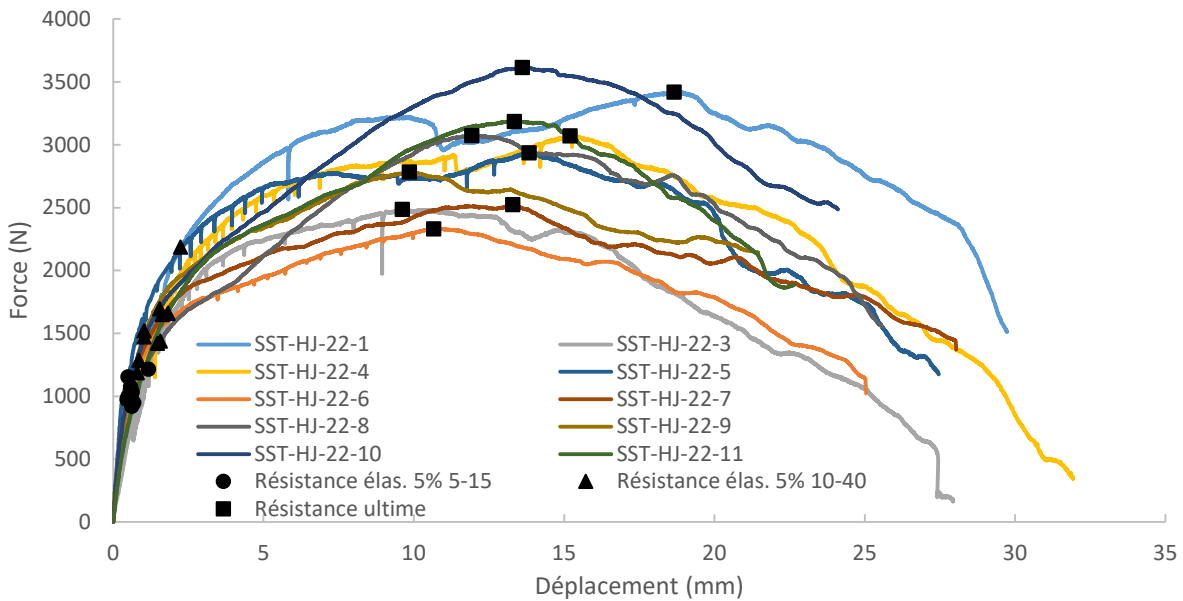


Figure B.8-1 : Courbe force-déplacement : essais SST-HJ-22

Tableau B.8-1 : Résistance élastique et ultime : essais SST-HJ-22

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
1	3419	971	1691	2186	2249	2030
3	2485	1215	1590	1422	1744	1413
4	3071	1032	1158	1649	1987	1783
5	2936	1153	867	1520	1714	1706
6	2332	1047	1121	1187	1133	1258
7	2523	973	1016	1286	1302	1415
8	3074	919	1099	1438	1482	1323
9	2783	1075	1329	1473	1492	1658
10	3616	996	1157	1695	1700	1692
11	3185	947	1425	1659	1870	1711
MOY.	2942	1033	1245	1552	1667	1599
CV	14.1%	9.1%	20.8%	17.8%	19.7%	15.0%

Tableau B.8-2 : Déplacement élastique et ultime : essais SST-HJ-22

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
1	18.66	0.62	0.79	2.24	1.93	1.93
3	9.61	1.18	1.32	1.48	1.58	1.46
4	15.20	0.63	0.48	1.63	1.58	1.84
5	13.84	0.50	0.25	1.03	0.81	1.12
6	10.67	0.60	0.47	0.80	0.59	0.90
7	13.29	0.47	0.33	0.86	0.65	1.08
8	11.93	0.62	0.56	1.57	1.30	1.25
9	9.86	0.58	0.54	1.02	0.83	1.32
10	13.61	0.49	0.39	1.55	1.23	1.54
11	13.34	0.69	0.80	1.82	1.73	1.91
MOY.	13.00	0.64	0.59	1.40	1.22	1.43
CV	20.8%	32.0%	52.4%	33.1%	39.2%	25.5%

Tableau B.8-3 : Ductilité : essais SST-HJ-22

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
1	30.13	23.74	8.33	9.66	9.68
3	8.15	7.30	6.51	6.08	6.58
4	24.20	31.96	9.34	9.62	8.25
5	27.79	55.11	13.50	17.06	12.38
6	17.66	22.77	13.33	18.11	11.81
7	28.57	40.67	15.52	20.29	12.26
8	19.17	21.34	7.62	9.15	9.57
9	17.11	18.38	9.63	11.87	7.46
10	27.84	34.58	8.78	11.11	8.86
11	19.33	16.66	7.32	7.72	6.98
MOY.	22.00	27.25	9.99	12.07	9.38
CV	31.5%	50.3%	30.5%	39.6%	23.0%

Tableau B.8-4 : Sur-résistance inélastique : essais SST-HJ-22

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
1	3.52	2.02	1.56	1.52	1.68
3	2.05	1.56	1.75	1.42	1.76
4	2.98	2.65	1.86	1.55	1.72
5	2.55	3.39	1.93	1.71	1.72
6	2.23	2.08	1.96	2.06	1.85
7	2.59	2.48	1.96	1.94	1.78
8	3.34	2.80	2.14	2.07	2.32
9	2.59	2.09	1.89	1.87	1.68
10	3.63	3.12	2.13	2.13	2.14
11	3.36	2.24	1.92	1.70	1.86
MOY.	2.88	2.44	1.91	1.80	1.85
CV	19.5%	22.7%	8.8%	14.0%	11.5%

Tableau B.8-5 : Valeurs de rigidité : essais SST-HJ-22

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
1	2.05	4.21	1.04	1.85
3	1.18	2.41	1.07	1.91
4	2.14	4.30	1.11	2.00
5	3.30	6.79	1.92	3.46
6	2.30	4.76	1.82	3.28
7	3.05	6.10	1.81	3.24
8	1.94	3.87	1.01	1.81
9	2.50	5.07	1.68	2.99
10	2.90	5.84	1.21	2.15
11	1.74	3.50	0.99	1.76
MOY.	2.31	4.68	1.37	2.45
CV	27.9%	28.0%	28.3%	28.8%

B.9. Essais SST-PCULP-20

Essais retirés : 2, 4

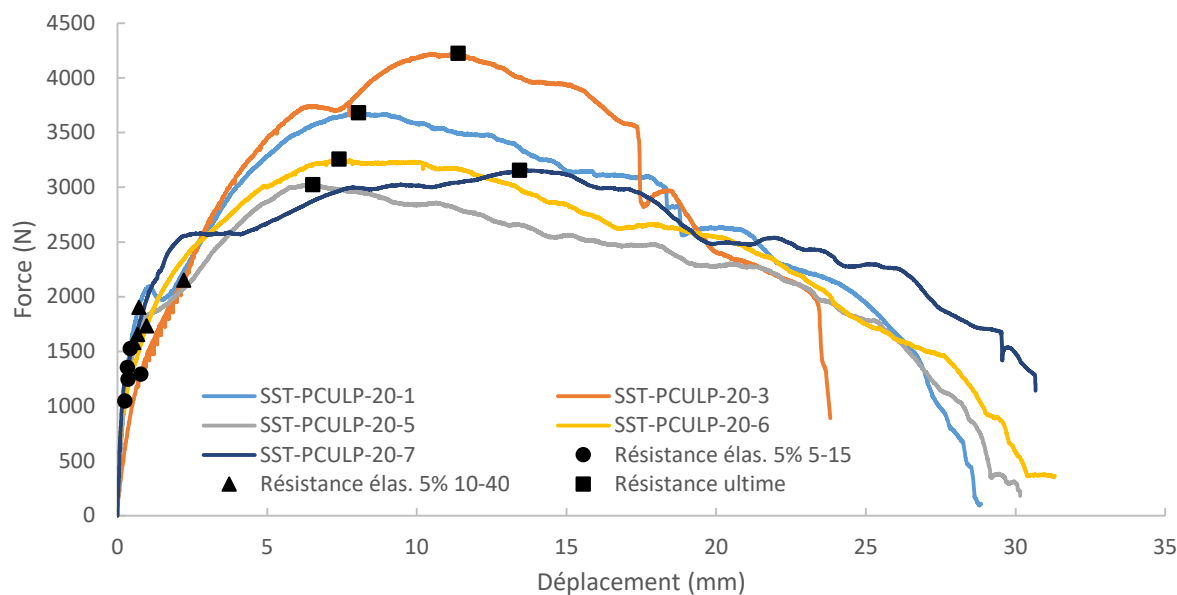


Figure B.9-1 : Courbe force-déplacement : essais SST-PCULP-20

Tableau B.9-1 : Résistance élastique et ultime : essais SST-PCULP-20

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
1	3680	1526	307	1904	1161	1626
3	4224	1294	1391	2152	2880	2482
5	3025	1246	1179	1655	944	1414
6	3257	1047	-205	1734	1508	1526
7	3156	1355	1026	1581	1399	1444
MOY.	3468	1294	740	1805	1578	1698
CV	14.1%	13.4%	90.2%	12.6%	48.1%	26.2%

Tableau B.9-2 : Déplacement élastique et ultime : essais SST-PCULP-20

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
1	8.05	0.42	0.05	0.72	0.29	0.48
3	11.38	0.78	0.63	2.22	2.50	2.69
5	6.52	0.35	0.19	0.68	0.25	0.47
6	7.40	0.25	-0.02	0.97	0.58	0.74
7	13.44	0.33	0.14	0.55	0.32	0.42
MOY.	9.36	0.43	0.20	1.03	0.79	0.96
CV	31.3%	48.0%	129.7%	66.8%	122.2%	101.9%

Tableau B.9-3 : Ductilité : essais SST-PCULP-20

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
1	18.99	165.02	11.26	27.34	16.77
3	14.62	18.03	5.13	4.56	4.22
5	18.43	33.71	9.66	25.92	14.03
6	29.73	-336.52	7.62	12.68	9.99
7	40.23	99.17	24.61	42.49	32.30
MOY.	24.40	-4.12	11.66	22.60	15.46
CV	43.0%	-4725.8%	65.2%	64.6%	68.1%

Tableau B.9-4 : Sur-résistance inélastique : essais SST-PCULP-20

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
1	2.41	11.98	1.93	3.17	2.26
3	3.26	3.04	1.96	1.47	1.70
5	2.43	2.57	1.83	3.21	2.14
6	3.11	-15.87	1.88	2.16	2.13
7	2.33	3.08	2.00	2.26	2.19
MOY.	2.71	0.96	1.92	2.45	2.08
CV	16.3%	1066.1%	3.5%	30.1%	10.6%

Tableau B.9-5 : Valeurs de rigidité : essais SST-PCULP-20

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
1	5.55	11.27	3.34	6.05
3	2.06	4.21	1.04	1.87
5	5.98	12.13	3.14	5.59
6	10.45	21.29	2.10	3.74
7	7.19	15.22	3.95	7.14
MOY.	6.25	12.83	2.72	4.88
CV	48.4%	48.5%	42.3%	42.6%

B.10. Essais SST-PCULP-22

Essais retirés : 2, 4

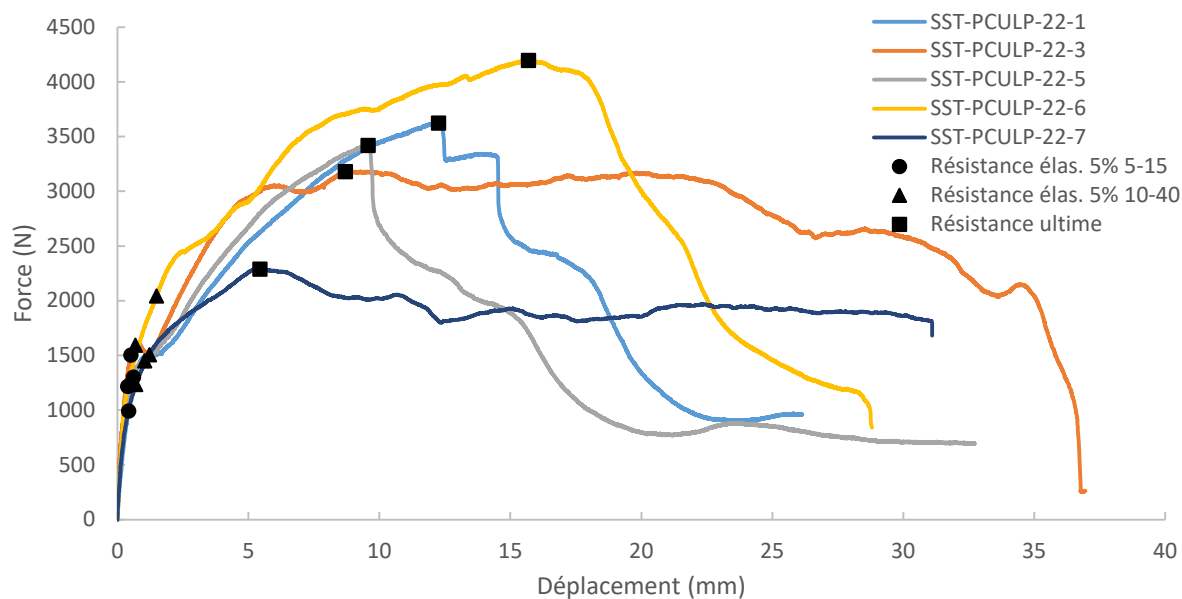


Figure B.10-1 : Courbe force-déplacement : essais SST-PCULP-22

Tableau B.10-1 : Résistance élastique et ultime : essais SST-PCULP-22

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
1	3623	1300	692	1505	1457	1587
3	3180	1504	556	1593	751	1202
5	3418	1230	645	1450	1519	1499
6	4194	1218	922	2042	1992	1960
7	2288	993	926	1233	1236	982
MOY.	3341	1249	748	1565	1391	1446
CV	20.9%	14.7%	22.4%	19.1%	32.5%	25.9%

Tableau B.10-2 : Déplacement élastique et ultime : essais SST-PCULP-22

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
1	12.26	0.61	0.24	1.22	0.89	1.93
3	8.70	0.52	0.10	0.69	0.17	0.32
5	9.57	0.48	0.13	1.04	0.76	1.27
6	15.69	0.39	0.19	1.49	1.13	1.36
7	5.44	0.43	0.25	0.70	0.50	0.41
MOY.	10.33	0.49	0.18	1.03	0.69	1.06
CV	37.4%	17.8%	35.7%	33.8%	53.4%	64.6%

Tableau B.10-3 : Ductilité : essais SST-PCULP-22

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
1	19.97	52.18	10.02	13.75	6.35
3	16.89	87.05	12.68	50.66	27.62
5	19.98	74.89	9.23	12.55	7.51
6	40.13	80.61	10.50	13.94	11.54
7	12.77	22.18	7.82	10.98	13.24
MOY.	21.95	63.38	10.05	20.38	13.25
CV	48.2%	41.8%	17.8%	83.3%	64.3%

Tableau B.10-4 : Sur-résistance inélastique : essais SST-PCULP-22

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
1	2.79	5.24	2.41	2.49	2.28
3	2.11	5.72	2.00	4.23	2.65
5	2.78	5.30	2.36	2.25	2.28
6	3.44	4.55	2.05	2.11	2.14
7	2.30	2.47	1.86	1.85	2.33
MOY.	2.69	4.66	2.13	2.59	2.34
CV	19.2%	27.7%	11.2%	36.8%	8.0%

Tableau B.10-5 : Valeurs de rigidité : essais SST-PCULP-22

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
1	2.79	5.59	1.40	2.49
3	4.08	8.19	2.96	5.33
5	3.72	7.52	1.64	2.92
6	4.98	10.08	1.52	2.71
7	3.56	7.25	2.25	4.01
MOY.	3.83	7.73	1.95	3.49
CV	20.8%	21.1%	33.4%	33.8%

B.11. Essais Rotho-TBS-6x80-20

Essais retirés : 11

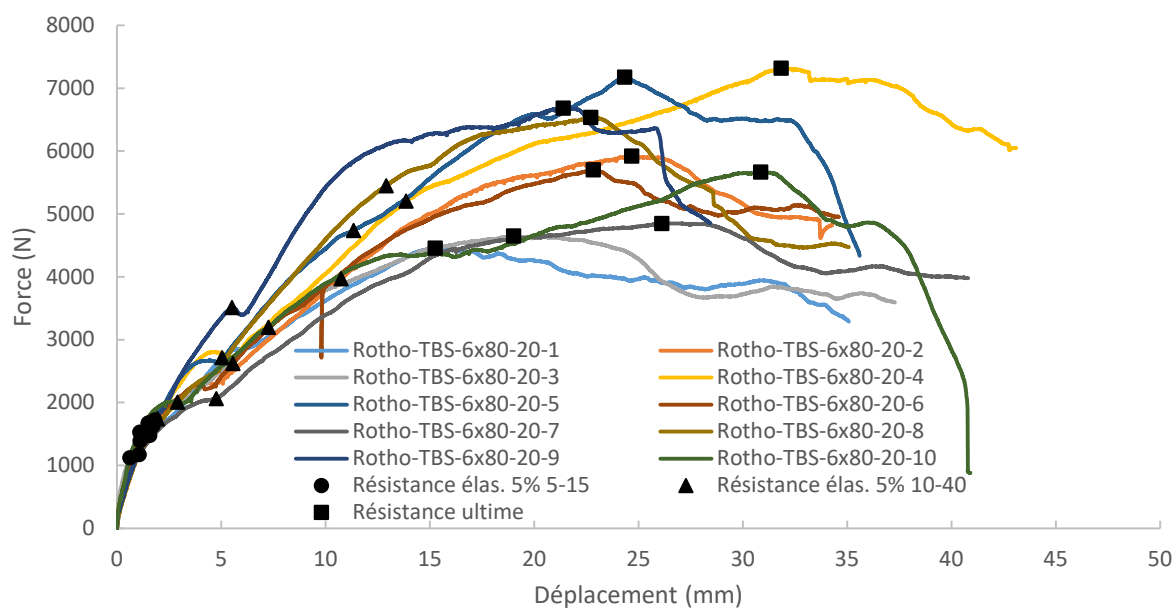


Figure B.11-1 : Courbe force-déplacement : essais Rotho-TBS-6x80-20

Tableau B.11-1 : Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-20

	F_{ult}	5%-15% (N)		10%-40% (N)		
		$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
1	4458	1503	1346	2714	1746	2421
2	5919	1632	1852	3969	2329	2426
3	4649	1124	1296	2006	1961	2000
4	7317	1678	1779	5204	2887	3092
5	7176	1666	1659	4739	2666	3780
6	5702	1393	1559	2622	2278	2572
7	4850	1175	1398	2062	1990	2024
8	6534	1476	1611	5447	2462	3457
9	6686	1721	855	3511	1881	2894
10	5666	1527	1616	3197	2079	2950
11	4036	1002	1025	1742	1625	1619
MOY.	5727	1445	1454	3383	2173	2762
CV	19.6%	17.0%	21.2%	38.7%	18.0%	21.2%

Tableau B.11-2 : Déplacement élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-20

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
1	15.26	1.16	0.86	5.04	2.58	4.26
2	24.68	1.74	1.65	10.76	5.01	5.31
3	19.02	0.62	0.48	2.91	2.12	2.87
4	31.85	1.51	1.25	13.86	6.02	6.68
5	24.35	1.50	1.16	11.35	4.99	7.76
6	22.83	1.12	0.97	5.57	3.80	5.43
7	26.12	1.08	0.99	4.76	3.60	4.07
8	22.72	1.58	1.42	12.92	4.70	7.00
9	21.40	1.82	0.65	5.53	2.30	3.98
10	30.86	1.10	0.90	7.26	3.60	6.32
11	18.73	0.42	0.30	1.95	1.38	1.38
MOY.	23.44	1.24	0.97	7.45	3.65	5.37
CV	21.3%	35.6%	41.2%	55.1%	39.6%	29.2%

Tableau B.11-3 : Ductilité : essais Rotho-TBS-6x80-20

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
1	13.12	17.73	3.03	5.91	3.58
2	14.21	14.95	2.29	4.93	4.65
3	30.49	39.62	6.54	8.96	6.63
4	21.04	25.44	2.30	5.29	4.77
5	16.22	20.96	2.14	4.88	3.14
6	20.39	23.56	4.10	6.02	4.21
7	24.20	26.37	5.48	7.26	6.42
8	14.37	15.97	1.76	4.83	3.25
9	11.78	32.94	3.87	9.32	5.38
10	28.03	34.17	4.25	8.57	4.89
11	44.38	62.22	9.62	13.52	13.55
MOY.	21.66	28.54	4.13	7.23	4.69
CV	45.0%	47.8%	57.0%	37.2%	25.9%

Tableau B.11-4 : Sur-résistance inélastique : essais Rotho-TBS-6x80-20

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
1	2.97	3.31	1.64	2.55	1.84
2	3.63	3.20	1.49	2.54	2.44
3	4.14	3.59	2.32	2.37	2.32
4	4.36	4.11	1.41	2.53	2.37
5	4.31	4.32	1.51	2.69	1.90
6	4.09	3.66	2.17	2.50	2.22
7	4.13	3.47	2.35	2.44	2.40
8	4.43	4.06	1.20	2.65	1.89
9	3.88	7.82	1.90	3.55	2.31
10	3.71	3.51	1.77	2.72	1.92
11	4.03	3.94	2.32	2.48	2.49
MOY.	3.97	4.09	1.83	2.64	2.16
CV	10.5%	31.5%	22.6%	12.2%	11.2%

Tableau B.11-5 : Valeurs de rigidité : essais Rotho-TBS-6x80-20

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
1	1.48	1.67	0.55	0.55
2	1.03	1.25	0.37	0.38
3	2.40	2.82	0.73	0.74
4	1.23	1.38	0.38	0.38
5	1.23	1.38	0.42	0.42
6	1.43	1.62	0.48	0.49
7	1.26	1.44	0.45	0.45
8	1.03	1.16	0.43	0.43
9	1.03	1.16	0.65	0.65
10	1.60	1.83	0.45	0.45
11	3.66	4.11	0.97	0.97
MOY.	1.58	1.80	0.54	0.54
CV	50.2%	49.7%	34.1%	34.1%

B.12. Essais Rotho-TBS-6x80-22

Essais retirés : -

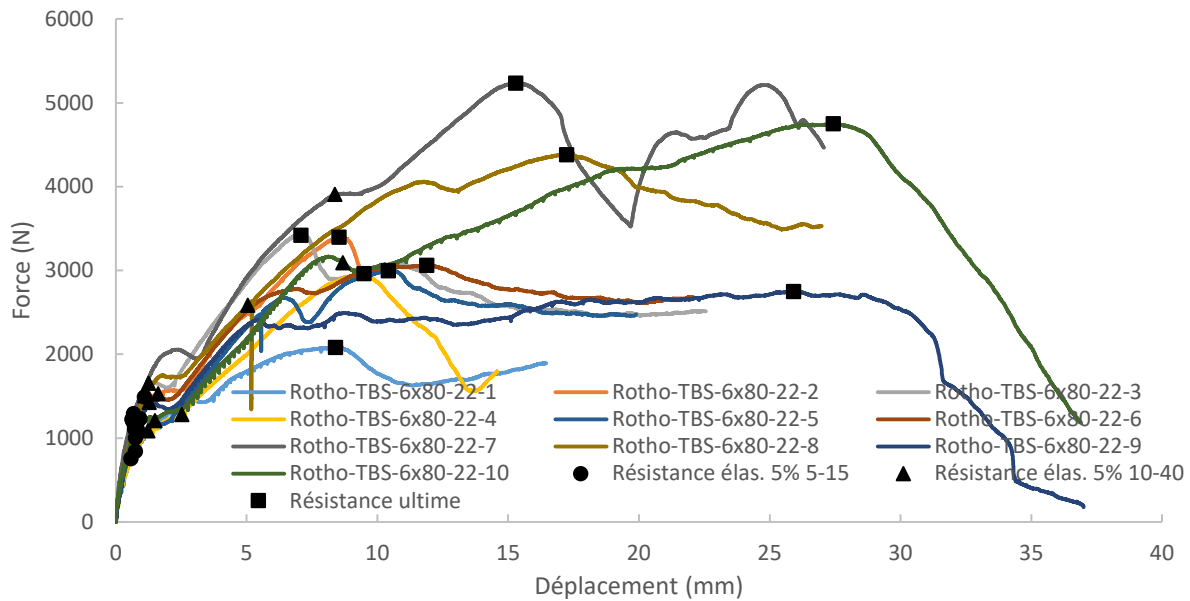


Figure B.12-1 : Courbe force-déplacement : essais Rotho-TBS-6x80-22

Tableau B.12-1 : Résistance élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-22

	5%-15% (N)			10%-40% (N)		
	F_{ult}	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,5\%}$	$F_{el,CEN}$	$F_{el,Y\&K}$
2	2080	756	832	1085	1001	907
3	3399	1112	1220	1530	1834	1348
4	3422	1223	832	1654	1772	1223
5	2964	843	822	1280	1804	1115
6	2997	1003	845	1210	469	1613
7	3061	1196	1272	1506	1230	1119
8	5234	1291	1511	3908	2140	3225
9	4382	1492	1264	2586	1833	2160
10	2751	1231	1289	1427	1480	1382
11	4750	1106	915	3092	1341	2103
MOY.	3504	1125	1080	1928	1490	1620
CV	28.0%	19.2%	23.7%	49.0%	33.2%	43.2%

Tableau B.12-2 : Déplacement élastique et ultime : essais Rotho-TBS-6x80-22

	5%-15% (mm)			10%-40% (mm)		
	u_{ult}	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,5\%}$	$u_{el,CEN}$	$u_{el,Y\&K}$
2	8.40	0.58	0.44	1.23	0.86	0.81
3	8.53	0.72	0.57	1.62	1.55	1.05
4	7.08	0.61	0.29	1.26	1.05	0.61
5	9.49	0.76	0.53	2.53	2.95	1.53
6	10.41	0.75	0.45	1.49	0.30	3.10
7	11.89	0.65	0.52	1.11	0.68	0.57
8	15.29	0.68	0.59	8.38	3.55	5.80
9	17.23	1.10	0.70	5.05	2.79	3.78
10	25.91	0.93	0.77	1.28	1.07	1.17
11	27.43	0.83	0.47	8.69	2.56	4.77
MOY.	14.17	0.76	0.53	3.26	1.73	2.32
CV	51.6%	20.7%	25.6%	92.5%	65.0%	82.1%

Tableau B.12-3 : Ductilité : essais Rotho-TBS-6x80-22

	5%-15% (mm/mm)		10%-40% (mm/mm)		
	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{5\%}$	μ_{CEN}	$\mu_{Y\&K}$
2	14.61	18.96	6.84	9.79	10.35
3	11.91	14.94	5.26	5.50	8.12
4	11.56	24.42	5.63	6.77	11.56
5	12.53	17.82	3.75	3.22	6.21
6	13.98	23.35	6.98	34.89	3.36
7	18.26	22.98	10.75	17.45	20.82
8	22.46	26.03	1.83	4.31	2.64
9	15.71	24.65	3.41	6.18	4.56
10	27.92	33.61	20.31	24.24	22.17
11	33.04	57.90	3.16	10.71	5.75
MOY.	18.20	26.47	6.79	12.31	9.55
CV	40.4%	46.0%	79.2%	83.4%	72.3%

Tableau B.12-4 : Sur-résistance inélastique : essais Rotho-TBS-6x80-22

	5%-15% (N/N)		10%-40% (N/N)		
	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{5\%}$	R_{CEN}	$R_{Y\&K}$
2	2.75	2.50	1.92	2.08	2.29
3	3.06	2.79	2.22	1.85	2.52
4	2.80	4.11	2.07	1.93	2.80
5	3.52	3.61	2.32	1.64	2.66
6	2.99	3.55	2.48	6.40	1.86
7	2.56	2.41	2.03	2.49	2.74
8	4.05	3.46	1.34	2.45	1.62
9	2.94	3.47	1.69	2.39	2.03
10	2.23	2.13	1.93	1.86	1.99
11	4.29	5.19	1.54	3.54	2.26
MOY.	3.12	3.32	1.95	2.66	2.28
CV	20.8%	27.5%	18.0%	53.2%	17.5%

Tableau B.12-5 : Valeurs de rigidité : essais Rotho-TBS-6x80-22

	5%-15% (kN/mm)		10%-40% (kN/mm)	
	k_{5-15}	$k_{EN\ 26891}$	k_{10-40}	$k_{EN\ 26891}$
2	1.76	3.58	1.00	1.79
3	1.95	4.68	1.04	1.85
4	2.65	5.62	1.50	2.68
5	1.38	2.79	0.54	0.96
6	1.68	3.46	0.90	1.60
7	2.37	4.75	1.57	2.79
8	2.41	4.90	0.48	0.85
9	1.58	3.20	0.53	0.94
10	1.57	3.15	1.26	2.25
11	1.62	3.29	0.36	0.65
MOY.	1.90	3.94	0.92	1.63
CV	22.7%	24.3%	47.4%	47.4%

ANNEXE C. REPRODUCTION DES TABLES DE CALCUL ACIER-ACIER

Reproduction des tables de calcul mise à jour fournis par CANAM. Ces tableaux ont été produits par CANAM spécifiquement pour cette recherche et ne sont pas reproduit ailleurs.



DIAPHRAGM LOAD TABLE

P-3606 - 40 ksi (275 MPa)

Support fastening : Hilti X-HSN 24

Side-lap fastening : #12 screw

LSD - Limit States Design

Wind and Earthquake Load

Thickness : 0.909 mm (20 gauge) 4 spans

ϕ (Fasteners) = 0.55 ϕ (Buckling) = 0.75		Q – Factored Shear Resistance (N/mm) G' – Stiffness Coefficient (10 ³ N/mm)									
Support pattern	Side-lap connectors	Span (C/C Support)									
		900 mm	1 050 mm	1 200 mm	1 350 mm	1 500 mm	1 650 mm	1 800 mm	1 950 mm	2 100 mm	
36/11	900 mm o/c	Q	16.8 C	16.4 C	14.6 C	13.1 I	11.9 C	10.8 I	9.9 I	10.1 I	9.4 I
		G'	16.1	17.2	17.4	17.3	17.2	17.0	16.7	17.5	17.1
	600 mm o/c	Q	18.6 C	16.4 C	14.6 C	14.4 I	13.1 C	12.0 C	11.0 I	11.2 I	10.4 I
		G'	16.7	17.2	17.4	18.2	18.2	18.0	17.7	18.4	18.1
	300 mm o/c	Q	20.3 C	19.4 C	17.4 C	17.0 I	15.5 C	15.3 C	14.2 C	14.1 C	13.2 C
		G'	17.3	18.4	18.8	19.5	19.6	20.3	20.2	20.7	20.5
	230 mm o/c	Q	21.9 C	20.8 C	20.0 C	18.2 I	17.7 C	17.4 C	16.1 C	15.9 C	15.7 C
		G'	17.7	18.8	19.7	20.1	20.7	21.3	21.4	21.8	22.2
	150 mm o/c	Q	24.7 C	23.4 C	22.3 C	21.5 I	20.8 C	20.2 C	19.7 C	19.2 C	18.8 C
		G'	18.3	19.5	20.5	21.3	22.0	22.5	23.1	23.5	23.9
36/9	900 mm o/c	Q	14.1 C	14.0 C	12.5 C	11.3 I	10.2 C	9.3 I	8.5 I	8.9 I	8.2 I
		G'	15.2	16.4	16.4	16.3	16.1	15.7	15.4	16.3	16.0
	600 mm o/c	Q	15.8 C	14.0 C	12.5 C	12.5 I	11.4 C	10.5 C	9.7 I	10.0 C	9.2 I
		G'	16.1	16.4	16.4	17.3	17.2	17.0	16.7	17.5	17.1
	300 mm o/c	Q	17.4 C	16.8 C	15.2 C	14.9 I	13.7 C	13.6 C	12.7 C	12.7 C	11.9 C
		G'	16.7	17.8	18.1	18.9	19.0	19.6	19.5	20.0	19.8
	230 mm o/c	Q	18.8 C	18.1 C	17.5 C	16.0 I	15.7 C	15.5 C	14.5 C	14.4 C	14.3 C
		G'	17.3	18.4	19.3	19.5	20.2	20.8	20.8	21.3	21.7
	150 mm o/c	Q	21.2 C	20.3 C	19.5 C	18.9 I	18.4 C	18.0 C	17.6 C	17.3 C	17.0 C
		G'	18.0	19.2	20.1	20.9	21.6	22.2	22.7	23.1	23.5
36/7	900 mm o/c	Q	9.0 C	9.6 C	8.5 C	7.6 I	6.9 I	6.2 I	5.7 I	6.3 I	5.8 I
		G'	13.2	14.7	14.5	14.2	13.8	13.4	13.0	14.3	13.8
	600 mm o/c	Q	10.9 C	9.6 C	8.5 C	9.0 I	8.2 C	7.5 C	6.9 I	7.4 C	6.9 I
		G'	14.6	14.7	14.5	15.7	15.4	15.0	14.7	15.7	15.3
	300 mm o/c	Q	12.7 C	12.7 C	11.4 C	11.5 I	10.5 C	10.7 C	10.0 C	10.2 C	9.5 C
		G'	15.6	16.8	16.9	17.8	17.7	18.4	18.2	18.9	18.6
	230 mm o/c	Q	14.3 C	14.1 C	13.9 C	12.7 I	12.7 C	12.7 C	11.8 C	11.9 C	11.9 C
		G'	16.4	17.5	18.5	18.6	19.3	19.9	19.8	20.4	20.8
	150 mm o/c	Q	17.1 C	16.6 C	16.1 C	15.8 I	15.5 C	15.3 C	15.1 C	14.9 C	14.7 C
		G'	17.5	18.6	19.5	20.3	21.0	21.6	22.1	22.5	22.9
36/4	900 mm o/c	Q	6.1 C	6.9 C	6.2 C	5.6 I	5.1 C	4.7 C	4.3 I	5.0 C	4.7 C
		G'	3.4	4.0	4.4	4.6	4.9	5.1	5.2	5.8	5.9
	600 mm o/c	Q	7.7 C	6.9 C	6.2 C	6.8 I	6.2 C	5.7 C	5.3 C	5.8 C	5.5 C
		G'	3.6	4.0	4.4	4.9	5.2	5.4	5.6	6.1	6.3
	300 mm o/c	Q	9.0 C	9.2 C	8.4 C	8.6 I	8.1 C	8.3 C	7.8 C	8.0 C	7.6 C
		G'	3.7	4.3	4.7	5.2	5.5	6.0	6.3	6.7	7.0
	230 mm o/c	Q	10.0 C	10.0 C	10.0 C	9.4 I	9.5 C	9.5 C	9.0 C	9.1 C	9.2 C
		G'	3.8	4.3	4.8	5.3	5.7	6.2	6.5	7.0	7.4
	150 mm o/c	Q	11.4 C	11.2 C	11.1 C	11.0 I	10.9 C	10.9 C	10.8 C	10.7 C	10.7 C
		G'	3.9	4.4	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.7

Controlling factor : (E) Edge fasteners, (I) Interior panel fasteners, (C) Corner fastener, (P) Panel buckling

- Note:**
- Diaphragm load tables are only applicable for steel support.
 - Support fastener strength according to DDM04, Eq. 6.6-3

Fasteners:	Qf =	7.98 kN	Qs =	3.85 kN
	Sf =	0.0377 mm/kN	Ss =	0.0905 mm/kN



DIAPHRAGM LOAD TABLE

P-3606 - 40 ksi (275 MPa)

Support fastening : Hilti X-HSN 24

Side-lap fastening : #12 screw

LSD - Limit States Design

Wind and Earthquake Load

Thickness : 0.909 mm (20 gauge) 4 spans

ϕ (Fasteners) = 0.55 ϕ (Buckling) = 0.75			Q – Factored Shear Resistance (N/mm)									
			G' – Stiffness Coefficient (10 ³ N/mm)									
			Span (C/C Support)									
Support pattern	Side-lap connectors		1 950 mm	2 100 mm	2 250 mm	2 400 mm	2 550 mm	2 700 mm	2 850 mm	3 000 mm	3 150 mm	
36/11	900 mm o/c	Q	10.1 I	9.4 I	8.7 I	8.2 I	7.6 I	7.2 I	7.5 I	7.2 I	6.8 I	
		G'	17.5	17.1	16.8	16.4	16.1	15.7	16.4	16.1	15.8	
	600 mm o/c	Q	11.2 I	10.4 I	9.7 I	9.0 I	9.3 I	8.8 I	8.3 I	7.9 I	8.2 I	
		G'	18.4	18.1	17.8	17.5	18.1	17.8	17.5	17.1	17.7	
	300 mm o/c	Q	14.1 C	13.2 C	12.5 C	12.5 I	12.5 C	11.9 C	12.0 C	11.4 I	11.5 C	
		G'	20.7	20.5	21.0	20.7	21.1	20.9	21.2	21.0	21.3	
	230 mm o/c	Q	15.9 C	15.7 C	14.8 C	14.7 I	14.7 C	13.9 C	13.9 C	13.9 C	13.3 C	
		G'	21.8	22.2	22.1	22.5	22.8	22.6	22.9	23.1	22.9	
	150 mm o/c	Q	19.2 C	18.8 C	18.5 C	18.2 I	17.9 C	17.7 C	17.5 C	17.3 C	17.1 C	
		G'	23.5	23.9	24.2	24.5	24.8	25.0	25.2	25.4	25.6	
36/9	900 mm o/c	Q	8.9 I	8.2 I	7.6 I	7.1 I	6.7 I	6.3 I	6.7 I	6.4 I	6.0 I	
		G'	16.3	16.0	15.6	15.2	14.8	14.5	15.3	15.0	14.6	
	600 mm o/c	Q	10.0 C	9.2 I	8.6 I	8.0 I	8.4 I	7.9 I	7.4 I	7.1 I	7.4 I	
		G'	17.5	17.1	16.8	16.4	17.2	16.8	16.4	16.1	16.8	
	300 mm o/c	Q	12.7 C	11.9 C	12.0 C	11.3 I	11.4 C	10.8 C	11.0 C	10.5 C	10.6 C	
		G'	20.0	19.8	20.3	20.1	20.5	20.2	20.6	20.3	20.7	
	230 mm o/c	Q	14.4 C	14.3 C	13.5 C	13.4 I	13.4 C	12.8 C	12.8 C	12.8 C	12.3 C	
		G'	21.3	21.7	21.6	21.9	22.3	22.1	22.4	22.7	22.4	
	150 mm o/c	Q	17.3 C	17.0 C	16.8 C	16.6 I	16.4 C	16.2 C	16.1 C	15.9 C	15.8 C	
		G'	23.1	23.5	23.9	24.2	24.4	24.7	24.9	25.1	25.3	
36/7	900 mm o/c	Q	6.3 I	5.8 I	5.4 I	5.1 I	4.8 I	4.5 I	5.0 I	4.7 I	4.5 I	
		G'	14.3	13.8	13.4	13.0	12.6	12.3	13.4	13.0	12.7	
	600 mm o/c	Q	7.4 C	6.9 I	6.4 I	6.0 I	6.4 I	6.1 I	5.7 I	5.4 I	5.9 I	
		G'	15.7	15.3	14.9	14.5	15.5	15.1	14.7	14.4	15.2	
	300 mm o/c	Q	10.2 C	9.5 C	9.8 C	9.2 I	9.4 C	9.0 C	9.2 C	8.8 C	9.0 C	
		G'	18.9	18.6	19.2	18.9	19.4	19.1	19.6	19.3	19.7	
	230 mm o/c	Q	11.9 C	11.9 C	11.3 C	11.4 I	11.4 C	10.9 C	11.0 C	11.1 C	10.6 C	
		G'	20.4	20.8	20.6	21.1	21.4	21.2	21.5	21.9	21.6	
	150 mm o/c	Q	14.9 C	14.7 C	14.6 C	14.5 I	14.4 C	14.3 C	14.2 C	14.1 C	14.1 C	
		G'	22.5	22.9	23.3	23.6	23.9	24.1	24.4	24.6	24.8	
36/4	900 mm o/c	Q	5.0 C	4.7 C	4.4 I	4.1 I	3.8 I	3.6 I	4.1 I	3.9 I	3.7 I	
		G'	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.2	6.8	6.8	6.8	
	600 mm o/c	Q	5.8 C	5.5 C	5.2 C	4.9 I	5.3 C	5.1 C	4.8 C	4.6 C	5.0 C	
		G'	6.1	6.3	6.5	6.6	7.1	7.2	7.2	7.3	7.8	
	300 mm o/c	Q	8.0 C	7.6 C	7.8 C	7.5 I	7.6 C	7.3 C	7.5 C	7.2 C	7.4 C	
		G'	6.7	7.0	7.4	7.6	8.0	8.2	8.6	8.7	9.1	
	230 mm o/c	Q	9.1 C	9.2 C	8.8 C	8.9 I	9.0 C	8.7 C	8.8 C	8.8 C	8.6 C	
		G'	7.0	7.4	7.7	8.0	8.4	8.7	9.0	9.3	9.5	
	150 mm o/c	Q	10.7 C	10.7 C	10.7 C	10.6 I	10.6 C	10.6 C	10.6 C	10.5 C	10.5 C	
		G'	7.2	7.7	8.1	8.4	8.8	9.2	9.5	9.8	10.2	

Controlling factor : (E) Edge fasteners, (I) Interior panel fasteners, (C) Corner fastener, (P) Panel buckling

- Note:**
- Diaphragm load tables are only applicable for steel support.
 - Support fastener strength according to DDM04, Eq. 6.6-3

Fasteners:	Qf =	7.98 kN	Qs =	3.85 kN
	Sf =	0.0377 mm/kN	Ss =	0.0905 mm/kN



DIAPHRAGM LOAD TABLE

P-3606 - 40 ksi (275 MPa)

Support fastening : Hilti X-HSN 24

Side-lap fastening : #12 screw

LSD - Limit States Design

Wind and Earthquake Load

Thickness : 0.762 mm (22 gauge) 4 spans

ϕ (Fasteners) = 0.55 ϕ (Buckling) = 0.75		Q – Factored Shear Resistance (N/mm) G' – Stiffness Coefficient (10 ³ N/mm)									
Support pattern	Side-lap connectors		Span (C/C Support)								
			900 mm	1 050 mm	1 200 mm	1 350 mm	1 500 mm	1 650 mm	1 800 mm	1 950 mm	2 100 mm
36/11	900 mm o/c	Q	14.2 C	13.8 C	12.3 C	11.1 I	10.0 I	9.1 I	8.3 I	8.5 I	7.9 I
		G'	12.2	13.2	13.5	13.7	13.7	13.7	13.6	14.3	14.1
	600 mm o/c	Q	15.7 C	13.8 C	12.3 C	12.2 I	11.1 C	10.1 I	9.3 I	9.4 I	8.7 I
		G'	12.6	13.2	13.5	14.3	14.4	14.4	14.4	15.0	14.9
	300 mm o/c	Q	17.1 C	16.3 C	14.7 C	14.3 I	13.1 C	12.9 C	11.9 C	11.9 C	11.1 C
	G'	12.9	13.9	14.4	15.2	15.4	16.0	16.1	16.6	16.6	
	230 mm o/c	Q	18.4 C	17.5 C	16.8 C	15.3 I	14.9 C	14.6 C	13.6 C	13.4 C	13.2 C
	G'	13.2	14.2	15.1	15.5	16.2	16.7	16.9	17.4	17.8	
	150 mm o/c	Q	20.8 C	19.7 C	18.8 C	18.1 I	17.5 C	17.0 C	16.5 C	16.2 C	15.8 C
	G'	13.6	14.6	15.5	16.3	17.0	17.5	18.1	18.5	18.9	
36/9	900 mm o/c	Q	11.9 C	11.8 C	10.5 C	9.5 I	8.6 C	7.8 I	7.1 I	7.5 I	6.9 I
		G'	11.6	12.6	12.9	13.0	12.9	12.8	12.7	13.4	13.2
	600 mm o/c	Q	13.3 C	11.8 C	10.5 C	10.6 I	9.6 C	8.8 C	8.1 I	8.4 I	7.7 I
		G'	12.2	12.6	12.9	13.7	13.7	13.7	13.6	14.3	14.1
	300 mm o/c	Q	14.6 C	14.1 C	12.8 C	12.6 I	11.5 C	11.5 C	10.7 C	10.7 C	10.0 C
	G'	12.6	13.6	14.0	14.8	15.0	15.6	15.6	16.1	16.1	
	230 mm o/c	Q	15.8 C	15.2 C	14.7 C	13.5 I	13.2 C	13.0 C	12.2 C	12.1 C	12.0 C
	G'	12.9	13.9	14.8	15.2	15.8	16.4	16.5	17.0	17.4	
	150 mm o/c	Q	17.9 C	17.1 C	16.4 C	15.9 I	15.5 C	15.1 C	14.8 C	14.6 C	14.3 C
	G'	13.4	14.4	15.3	16.1	16.7	17.3	17.8	18.3	18.7	
36/7	900 mm o/c	Q	7.6 C	8.1 C	7.1 C	6.4 I	5.8 I	5.2 I	4.8 I	5.3 I	4.9 I
		G'	10.3	11.5	11.6	11.5	11.3	11.1	10.8	11.9	11.6
	600 mm o/c	Q	9.2 C	8.1 C	7.1 C	7.6 I	6.9 C	6.3 C	5.8 I	6.2 I	5.7 I
		G'	11.3	11.5	11.6	12.5	12.5	12.3	12.1	13.0	12.7
	300 mm o/c	Q	10.7 C	10.7 C	9.6 C	9.7 I	8.9 C	9.0 C	8.4 C	8.6 C	8.0 C
	G'	11.9	12.9	13.2	14.0	14.1	14.7	14.7	15.3	15.2	
	230 mm o/c	Q	12.1 C	11.9 C	11.7 C	10.7 I	10.7 C	10.7 C	9.9 C	10.0 C	10.0 C
	G'	12.4	13.4	14.2	14.5	15.2	15.8	15.9	16.3	16.8	
	150 mm o/c	Q	14.4 C	13.9 C	13.6 C	13.3 I	13.0 C	12.8 C	12.7 C	12.5 C	12.4 C
	G'	13.0	14.1	14.9	15.7	16.3	16.9	17.4	17.8	18.2	
36/4	900 mm o/c	Q	5.2 C	5.8 C	5.2 C	4.7 I	4.3 C	4.0 C	3.6 I	4.2 C	3.9 C
		G'	2.4	2.8	3.0	3.3	3.5	3.6	3.8	4.2	4.3
	600 mm o/c	Q	6.5 C	5.8 C	5.2 C	5.7 I	5.2 C	4.8 C	4.5 C	4.9 C	4.6 C
		G'	2.5	2.8	3.0	3.4	3.6	3.9	4.0	4.4	4.6
	300 mm o/c	Q	7.6 C	7.7 C	7.1 C	7.3 I	6.8 C	7.0 C	6.6 C	6.7 C	6.4 C
	G'	2.5	2.9	3.2	3.5	3.8	4.2	4.4	4.7	4.9	
	230 mm o/c	Q	8.4 C	8.4 C	8.4 C	7.9 I	8.0 C	8.0 C	7.6 C	7.7 C	7.7 C
	G'	2.5	2.9	3.3	3.6	3.9	4.3	4.5	4.8	5.1	
	150 mm o/c	Q	9.6 C	9.4 C	9.3 C	9.3 I	9.2 C	9.1 C	9.1 C	9.0 C	9.0 C
	G'	2.6	3.0	3.3	3.7	4.0	4.4	4.7	5.0	5.3	

Controlling factor : (E) Edge fasteners, (I) Interior panel fasteners, (C) Corner fastener, (P) Panel buckling

Note:

- Diaphragm load tables are only applicable for steel support.
- Support fastener strength according to DDM04, Eq. 6.6-3

Fasteners:

Qf =	6.73 kN	Qs =	3.22 kN
Sf =	0.0412 mm/kN	Ss =	0.0989 mm/kN



DIAPHRAGM LOAD TABLE

P-3606 - 40 ksi (275 MPa)

Support fastening : Hilti X-HSN 24

Side-lap fastening : #12 screw

LSD - Limit States Design

Wind and Earthquake Load

Thickness : 0.762 mm (22 gauge) 4 spans

ϕ (Fasteners) = 0.55 ϕ (Buckling) = 0.75			Q – Factored Shear Resistance (N/mm)								
			G' – Stiffness Coefficient (10 ³ N/mm)								
			Span (C/C Support)								
Support pattern	Side-lap connectors		1 950 mm	2 100 mm	2 250 mm	2 400 mm	2 550 mm	2 700 mm	2 850 mm	3 000 mm	3 150 mm
36/11	900 mm o/c	Q	8.5 I	7.9 I	7.3 I	6.8 I	6.4 I	6.0 I	6.3 I	6.0 I	5.7 I
		G'	14.3	14.1	13.9	13.7	13.5	13.2	13.9	13.6	13.4
	600 mm o/c	Q	9.4 I	8.7 I	8.1 I	7.6 I	7.8 I	7.4 I	7.0 I	6.6 I	6.9 I
		G'	15.0	14.9	14.7	14.5	15.0	14.8	14.6	14.4	14.9
	300 mm o/c	Q	11.9 C	11.1 C	11.1 C	10.5 I	10.5 C	10.0 I	10.1 C	9.6 I	9.7 C
		G'	16.6	16.6	17.0	16.9	17.3	17.2	17.5	17.4	17.7
	230 mm o/c	Q	13.4 C	13.2 C	12.5 C	12.4 I	12.3 C	11.7 C	11.7 C	11.7 C	11.2 C
		G'	17.4	17.8	17.8	18.1	18.5	18.4	18.7	18.9	18.8
	150 mm o/c	Q	16.2 C	15.8 C	15.6 C	15.3 I	15.1 C	14.9 C	14.7 C	14.5 C	14.1 P
		G'	18.5	18.9	19.3	19.6	19.9	20.2	20.4	20.6	20.8
36/9	900 mm o/c	Q	7.5 I	6.9 I	6.4 I	6.0 I	5.6 I	5.3 I	5.6 I	5.3 I	5.1 I
		G'	13.4	13.2	13.0	12.8	12.5	12.3	13.0	12.7	12.5
	600 mm o/c	Q	8.4 I	7.7 I	7.2 I	6.7 I	7.0 I	6.6 I	6.2 I	5.9 I	6.2 I
		G'	14.3	14.1	13.9	13.7	14.3	14.1	13.9	13.6	14.2
	300 mm o/c	Q	10.7 C	10.0 C	10.1 C	9.5 I	9.6 C	9.1 C	9.2 C	8.8 C	8.9 C
		G'	16.1	16.1	16.5	16.4	16.8	16.7	17.0	16.9	17.2
	230 mm o/c	Q	12.1 C	12.0 C	11.3 C	11.3 I	11.3 C	10.7 C	10.7 C	10.8 C	10.3 C
		G'	17.0	17.4	17.4	17.8	18.1	18.0	18.3	18.6	18.5
	150 mm o/c	Q	14.6 C	14.3 C	14.1 C	13.9 I	13.8 C	13.6 C	13.5 C	13.4 C	13.3 C
		G'	18.3	18.7	19.0	19.3	19.6	19.9	20.2	20.4	20.6
36/7	900 mm o/c	Q	5.3 I	4.9 I	4.6 I	4.3 I	4.0 I	3.8 I	4.2 I	4.0 I	3.8 I
		G'	11.9	11.6	11.4	11.1	10.8	10.5	11.5	11.2	10.9
	600 mm o/c	Q	6.2 I	5.7 I	5.3 I	5.0 I	5.4 I	5.1 I	4.8 I	4.6 I	4.9 I
		G'	13.0	12.7	12.5	12.2	13.0	12.8	12.5	12.3	12.9
	300 mm o/c	Q	8.6 C	8.0 C	8.2 C	7.7 I	7.9 C	7.5 C	7.7 C	7.4 C	7.5 C
		G'	15.3	15.2	15.7	15.5	16.0	15.8	16.2	16.1	16.4
	230 mm o/c	Q	10.0 C	10.0 C	9.5 C	9.5 I	9.6 C	9.2 C	9.2 C	9.3 C	8.9 C
		G'	16.3	16.8	16.8	17.1	17.5	17.4	17.7	18.0	17.9
	150 mm o/c	Q	12.5 C	12.4 C	12.3 C	12.2 I	12.1 C	12.0 C	11.9 C	11.9 C	11.8 C
		G'	17.8	18.2	18.6	18.9	19.2	19.5	19.8	20.0	20.2
36/4	900 mm o/c	Q	4.2 C	3.9 C	3.6 I	3.4 I	3.2 I	3.0 I	3.5 I	3.3 I	3.1 I
		G'	4.2	4.3	4.5	4.6	4.6	4.7	5.1	5.2	5.2
	600 mm o/c	Q	4.9 C	4.6 C	4.3 C	4.1 I	4.5 C	4.2 C	4.0 C	3.9 C	4.2 C
		G'	4.4	4.6	4.7	4.8	5.2	5.3	5.4	5.5	5.8
	300 mm o/c	Q	6.7 C	6.4 C	6.6 C	6.3 I	6.4 C	6.2 C	6.3 C	6.1 C	6.2 C
		G'	4.7	4.9	5.2	5.4	5.7	5.9	6.2	6.3	6.6
	230 mm o/c	Q	7.7 C	7.7 C	7.4 C	7.5 I	7.6 C	7.3 C	7.4 C	7.4 C	7.2 C
		G'	4.8	5.1	5.4	5.7	5.9	6.2	6.4	6.7	6.8
	150 mm o/c	Q	9.0 C	9.0 C	9.0 C	8.9 I	8.9 C	8.9 C	8.9 C	8.9 C	8.8 C
		G'	5.0	5.3	5.6	5.9	6.2	6.4	6.7	7.0	7.2

Controlling factor : (E) Edge fasteners, (I) Interior panel fasteners, (C) Corner fastener, (P) Panel buckling

- Note:**
- Diaphragm load tables are only applicable for steel support.
 - Support fastener strength according to DDM04, Eq. 6.6-3

Fasteners:	Qf =	6.73 kN	Qs =	3.22 kN
	Sf =	0.0412 mm/kN	Ss =	0.0989 mm/kN

ANNEXE D. TABLES DE CALCUL DE DIAPHRAGME

Note : Ces tables de calcul sont fournies à titre d'outils de recherche et non de conception. Leur utilisation pour la conception doit être confirmée par l'ingénieur concepteur.

Pour toutes les tables :

- profil de tablier CANAM P-3606 – 40 ksi (275 MPa)
- essence du bois des poutres et poutrelles : GL VF-24F-1.8E, $G = 0.5$;
- facteur de correction de l'assemblage acier-bois : $K_D = 1.15$ et $J_D = 1.3$
- pièce de bois au moins égale ou plus large que 125 mm
- connecteur latéral : Vis de connecteur latéral no. 12
- le patron de connecteur en bout de feuille est le même que celui intérieur
- le connecteur en bout de feuille est le même que celui intérieur
- calculer pour une résistance sur 4 portées
- le facteur de sécurité de 0.55 pour tous les états limites sauf en flambement hors-plan qui est de 0.75 (tel que proposé dans SDI DDM04 [3] p. 2-13)
- l'espacement entre les connecteurs latéraux sur poutre est le même que ceux intérieurs

Symboles utilisés dans les tables

Q : résistance au cisaillement pondéré (N/mm)

G' : coefficient de rigidité (10^3 N/mm)

Facteur de contrôle (terminologie similaire à celle utilisé dans les tables de CANAM)

E : connecteurs au périmètre (Edge fasteners)

I : connecteurs intérieurs (Interior panel fasteners)

C : connecteurs au coin (Corner fasteners)

P : fléchissement hors-plan du panneau (Panel buckling)

D.1. CANAM P-3606-20 - Clou toit #11 1-1/2

Tableau D.1-1 : CANAM P-3606-20 - Clou toit #11 1-1/2

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/4	900 mm c/c	Q	0.6 (C)	1.1 (E)	1.0 (E)	0.9 (E)	0.8 (E)	0.7 (E)	0.6 (E)	0.8 (E)	0.8 (E)	0.7 (E)	0.7 (E)
		G'	0.4	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.2	4.5	4.5	4.5	4.5
	600 mm c/c	Q	1.3 (C)	1.1 (E)	1.0 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)	1.0 (E)	0.9 (E)	1.1 (E)	1.0 (E)	0.9 (E)	0.9 (E)
		G'	2.9	3.1	3.2	4.1	4.3	4.4	4.5	5.2	5.3	5.4	5.4
	300 mm c/c	Q	1.4 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)
		G'	3.3	3.9	4.3	4.8	5.1	5.6	5.8	6.3	6.5	6.9	7.1
	230 mm c/c	Q	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)
		G'	3.5	4.1	4.6	4.9	5.4	5.9	6.2	6.6	7.0	7.3	7.6
	150 mm c/c	Q	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)
		G'	3.7	4.2	4.7	5.2	5.7	6.1	6.6	7.0	7.4	7.8	8.1
	100 mm c/c	Q	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)
		G'	3.8	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.3	7.7	8.1	8.5
	75 mm c/c	Q	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)	1.5 (C)
		G'	3.8	4.4	4.9	5.5	6.0	6.5	6.9	7.4	7.9	8.3	8.7
36/7	900 mm c/c	Q	0.9 (C)	1.5 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)	1.0 (E)	1.0 (E)	0.9 (E)	1.0 (E)	1.0 (E)	0.9 (E)	0.8 (E)
		G'	0.7	7.1	6.6	6.1	5.7	5.3	5.0	7.9	7.6	7.2	6.9
	600 mm c/c	Q	1.8 (E)	1.5 (E)	1.3 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)	1.0 (E)
		G'	7.6	7.1	6.6	9.7	9.2	8.8	8.3	10.5	10.1	9.7	9.3
	300 mm c/c	Q	2.3 (E)	2.4 (E)	2.1 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)	1.9 (E)	1.8 (E)
		G'	11.1	13.0	12.7	14.1	13.8	15.0	14.6	15.6	15.2	16.1	15.7
	230 mm c/c	Q	2.8 (E)	2.9 (C)	2.9 (C)	2.6 (E)	2.6 (E)	2.7 (E)	2.4 (E)	2.5 (E)	2.5 (E)	2.4 (E)	2.4 (E)
		G'	13.1	14.5	15.7	15.5	16.5	17.3	17.1	17.8	18.4	18.1	18.7
	150 mm c/c	Q	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)
		G'	15.5	16.6	17.5	18.4	19.1	19.7	20.2	20.7	21.2	21.6	21.9
	100 mm c/c	Q	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)
		G'	17.2	18.7	19.6	20.8	21.5	22.4	22.9	23.6	24.0	24.6	24.9
	75 mm c/c	Q	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)	3.0 (C)
		G'	18.1	19.6	20.8	21.9	22.8	23.6	24.4	25.0	25.6	26.2	26.7

Tableau D.1-1 : CANAM P-3606-20 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/9	900 mm c/c	Q	1.5 (C)	2.1 (E)	1.8 (E)	1.6 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)
		G'	1.1	7.3	6.7	6.3	5.8	5.5	5.1	8.0	7.7	7.3	7.0
	600 mm c/c	Q	2.4 (E)	2.1 (E)	1.8 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)
		G'	7.8	7.3	6.7	9.8	9.4	8.9	8.4	10.6	10.1	9.7	9.4
	300 mm c/c	Q	3.0 (E)	3.0 (E)	2.6 (E)	2.7 (E)	2.4 (E)	2.5 (E)	2.2 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	2.2 (E)	2.1 (E)
		G'	11.2	13.0	12.7	14.2	13.8	15.0	14.6	15.6	15.3	16.1	15.8
	230 mm c/c	Q	3.5 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.0 (E)	3.0 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.7 (E)
		G'	13.2	14.6	15.7	15.6	16.5	17.4	17.1	17.8	18.4	18.2	18.7
	150 mm c/c	Q	3.9 (C)	3.9 (C)	3.9 (C)	3.9 (C)	3.9 (C)	3.9 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)
		G'	15.5	16.6	17.6	18.4	19.1	19.7	20.3	20.7	21.2	21.6	21.9
	100 mm c/c	Q	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)
		G'	17.2	18.7	19.7	20.8	21.5	22.4	22.9	23.6	24.0	24.6	24.9
	75 mm c/c	Q	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)	4.0 (C)
		G'	18.2	19.6	20.8	21.9	22.8	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7
36/11	900 mm c/c	Q	1.8 (C)	2.5 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)
		G'	1.4	7.4	6.9	6.4	5.9	5.6	5.2	8.1	7.7	7.4	7.0
	600 mm c/c	Q	2.9 (E)	2.5 (E)	2.1 (E)	2.3 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)
		G'	7.9	7.4	6.9	9.9	9.4	9.0	8.5	10.6	10.2	9.8	9.4
	300 mm c/c	Q	3.4 (E)	3.4 (E)	2.9 (E)	3.0 (E)	2.7 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)
		G'	11.2	13.1	12.8	14.2	13.9	15.0	14.7	15.7	15.3	16.2	15.8
	230 mm c/c	Q	3.9 (E)	3.8 (E)	3.7 (E)	3.3 (E)	3.3 (E)	3.3 (E)	3.0 (E)	3.0 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)
		G'	13.2	14.6	15.8	15.6	16.6	17.4	17.1	17.8	18.5	18.2	18.7
	150 mm c/c	Q	4.8 (C)	4.7 (E)	4.5 (E)	4.4 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)	3.8 (E)
		G'	15.5	16.6	17.6	18.4	19.1	19.7	20.3	20.8	21.2	21.6	21.9
	100 mm c/c	Q	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)
		G'	17.2	18.7	19.7	20.8	21.5	22.4	22.9	23.6	24.0	24.6	24.9
	75 mm c/c	Q	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)	5.0 (C)
		G'	18.2	19.6	20.8	21.9	22.8	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7

Tableau D.1-1 : CANAM P-3606-20 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/13	900 mm c/c	Q	1.9 (C)	2.7 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)
		G'	1.5	7.4	6.9	6.4	6.0	5.6	5.3	8.1	7.8	7.4	7.1
	600 mm c/c	Q	3.1 (E)	2.7 (E)	2.3 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)
		G'	8.0	7.4	6.9	9.9	9.5	9.0	8.6	10.6	10.2	9.8	9.4
	300 mm c/c	Q	3.6 (E)	3.6 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)
		G'	11.3	13.1	12.8	14.2	13.9	15.1	14.7	15.7	15.3	16.2	15.8
	230 mm c/c	Q	4.2 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.5 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)
		G'	13.2	14.6	15.8	15.6	16.6	17.4	17.2	17.9	18.5	18.2	18.8
	150 mm c/c	Q	5.2 (E)	4.9 (E)	4.7 (E)	4.5 (E)	4.4 (E)	4.3 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)
		G'	15.5	16.6	17.6	18.4	19.1	19.7	20.3	20.8	21.2	21.6	21.9
	100 mm c/c	Q	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.7 (E)	5.8 (E)	5.6 (E)	5.6 (E)	5.5 (E)
		G'	17.2	18.7	19.7	20.8	21.5	22.4	22.9	23.6	24.0	24.6	24.9
	75 mm c/c	Q	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)
		G'	18.2	19.6	20.8	21.9	22.8	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7
36/14	900 mm c/c	Q	1.9 (C)	2.7 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)
		G'	1.5	7.4	6.9	6.4	6.0	5.6	5.3	8.1	7.8	7.4	7.1
	600 mm c/c	Q	3.1 (E)	2.7 (E)	2.3 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)
		G'	8.0	7.4	6.9	9.9	9.5	9.0	8.6	10.6	10.2	9.8	9.4
	300 mm c/c	Q	3.6 (E)	3.6 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)
		G'	11.3	13.1	12.8	14.2	13.9	15.1	14.7	15.7	15.3	16.2	15.8
	230 mm c/c	Q	4.2 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.5 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)
		G'	13.2	14.6	15.8	15.6	16.6	17.4	17.2	17.9	18.5	18.2	18.8
	150 mm c/c	Q	5.2 (E)	4.9 (E)	4.7 (E)	4.5 (E)	4.4 (E)	4.3 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)
		G'	15.5	16.6	17.6	18.4	19.1	19.7	20.3	20.8	21.2	21.6	21.9
	100 mm c/c	Q	6.4 (C)	6.4 (C)	6.3 (E)	6.3 (E)	5.9 (E)	6.0 (E)	5.7 (E)	5.8 (E)	5.6 (E)	5.6 (E)	5.5 (E)
		G'	17.2	18.7	19.7	20.8	21.5	22.4	22.9	23.6	24.0	24.6	24.9
	75 mm c/c	Q	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)
		G'	18.2	19.6	20.8	21.9	22.8	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7

Tableau D.1-1 : CANAM P-3606-20 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/18	900 mm c/c	Q	3.1 (C)	3.8 (E)	3.3 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	1.8 (E)
		G'	2.2	7.8	7.2	6.7	6.3	5.9	5.5	8.3	8.0	7.6	7.3
	600 mm c/c	Q	4.4 (E)	3.8 (E)	3.3 (E)	3.3 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.4 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)
		G'	8.3	7.8	7.2	10.2	9.7	9.2	8.8	10.8	10.4	10.0	9.6
	300 mm c/c	Q	4.9 (E)	4.7 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.6 (E)	3.5 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)
		G'	11.4	13.2	12.9	14.4	14.0	15.2	14.8	15.8	15.4	16.3	15.9
	230 mm c/c	Q	5.5 (E)	5.1 (E)	4.9 (E)	4.3 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)	3.8 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)
		G'	13.4	14.7	15.9	15.7	16.7	17.5	17.2	17.9	18.5	18.3	18.8
36/22	150 mm c/c	Q	6.5 (E)	6.0 (E)	5.7 (E)	5.4 (E)	5.2 (E)	5.0 (E)	4.8 (E)	4.7 (E)	4.6 (E)	4.5 (E)	4.4 (E)
		G'	15.6	16.7	17.6	18.5	19.2	19.8	20.3	20.8	21.2	21.6	22.0
	100 mm c/c	Q	8.1 (E)	7.8 (E)	7.2 (E)	7.1 (E)	6.7 (E)	6.7 (E)	6.4 (E)	6.4 (E)	6.1 (E)	6.2 (E)	6.0 (E)
		G'	17.3	18.8	19.7	20.8	21.5	22.4	22.9	23.7	24.0	24.7	24.9
	75 mm c/c	Q	8.4 (C)	8.4 (C)	8.4 (C)	8.4 (C)	8.3 (E)	8.1 (E)	8.0 (E)	7.8 (E)	7.7 (E)	7.6 (E)	7.5 (E)
		G'	18.2	19.6	20.8	21.9	22.9	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7
	900 mm c/c	Q	3.7 (C)	4.5 (E)	4.0 (E)	3.5 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)
		G'	2.6	8.0	7.4	6.9	6.5	6.1	5.7	8.5	8.1	7.7	7.4
36/22	600 mm c/c	Q	5.3 (E)	4.5 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.5 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)
		G'	8.5	8.0	7.4	10.3	9.8	9.3	8.9	10.9	10.5	10.1	9.7
	300 mm c/c	Q	5.8 (E)	5.4 (E)	4.7 (E)	4.6 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)	3.6 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)
		G'	11.6	13.3	13.0	14.4	14.1	15.2	14.9	15.8	15.5	16.3	16.0
	230 mm c/c	Q	6.3 (E)	5.9 (E)	5.5 (E)	4.9 (E)	4.7 (E)	4.6 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.8 (E)	3.7 (E)
		G'	13.4	14.8	15.9	15.8	16.7	17.5	17.3	18.0	18.6	18.3	18.9
	150 mm c/c	Q	7.4 (E)	6.8 (E)	6.3 (E)	6.0 (E)	5.7 (E)	5.4 (E)	5.3 (E)	5.1 (E)	4.9 (E)	4.8 (E)	4.7 (E)
		G'	15.6	16.7	17.7	18.5	19.2	19.8	20.4	20.8	21.3	21.7	22.0
36/22	100 mm c/c	Q	9.0 (E)	8.6 (E)	7.9 (E)	7.7 (E)	7.3 (E)	7.2 (E)	6.8 (E)	6.8 (E)	6.5 (E)	6.5 (E)	6.3 (E)
		G'	17.3	18.8	19.7	20.9	21.5	22.4	22.9	23.7	24.0	24.7	25.0
36/22	75 mm c/c	Q	10.2 (C)	9.9 (E)	9.5 (E)	9.1 (E)	8.8 (E)	8.6 (E)	8.4 (E)	8.2 (E)	8.1 (E)	8.0 (E)	7.9 (E)
		G'	18.2	19.6	20.9	21.9	22.9	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7

Tableau D.1-1 : CANAM P-3606-20 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/28	900 mm c/c	Q	3.9 (C)	4.9 (E)	4.3 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)
		G'	2.8	8.1	7.5	7.0	6.6	6.2	5.8	8.5	8.2	7.8	7.4
	600 mm c/c	Q	5.7 (E)	4.9 (E)	4.3 (E)	4.2 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)
		G'	8.6	8.1	7.5	10.4	9.9	9.4	9.0	11.0	10.5	10.1	9.8
	300 mm c/c	Q	6.3 (E)	5.8 (E)	5.1 (E)	4.9 (E)	4.4 (E)	4.3 (E)	3.9 (E)	3.8 (E)	3.6 (E)	3.5 (E)	3.3 (E)
		G'	11.6	13.4	13.1	14.5	14.1	15.3	14.9	15.9	15.5	16.3	16.0
	230 mm c/c	Q	6.8 (E)	6.3 (E)	5.9 (E)	5.2 (E)	5.0 (E)	4.8 (E)	4.4 (E)	4.3 (E)	4.2 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)
		G'	13.5	14.8	16.0	15.8	16.7	17.5	17.3	18.0	18.6	18.3	18.9
	150 mm c/c	Q	7.8 (E)	7.2 (E)	6.7 (E)	6.3 (E)	5.9 (E)	5.7 (E)	5.5 (E)	5.3 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	4.9 (E)
		G'	15.6	16.8	17.7	18.5	19.2	19.8	20.4	20.9	21.3	21.7	22.0
	100 mm c/c	Q	9.4 (E)	9.0 (E)	8.2 (E)	8.0 (E)	7.5 (E)	7.4 (E)	7.1 (E)	7.0 (E)	6.7 (E)	6.7 (E)	6.5 (E)
		G'	17.3	18.8	19.7	20.9	21.5	22.4	22.9	23.7	24.1	24.7	25.0
	75 mm c/c	Q	11.0 (E)	10.3 (E)	9.8 (E)	9.4 (E)	9.1 (E)	8.8 (E)	8.6 (E)	8.5 (E)	8.3 (E)	8.2 (E)	8.0 (E)
		G'	18.2	19.6	20.9	21.9	22.9	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7

D.2. CANAM P-3606-22 - Clou toit #11 1-1/2

Tableau D.2-1 : CANAM P-3606-22 - Clou toit #11 1-1/2

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/4	900 mm c/c	Q	0.6 (C)	1.1 (E)	0.9 (E)	0.8 (E)	0.7 (E)	0.7 (E)	0.6 (E)	0.8 (E)	0.7 (E)	0.7 (E)	0.6 (E)
		G'	0.4	2.2	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	3.4	3.4	3.5	3.5
	600 mm c/c	Q	1.2 (C)	1.1 (E)	0.9 (E)	1.2 (E)	1.0 (E)	0.9 (E)	0.9 (E)	1.0 (E)	0.9 (E)	0.9 (E)	0.8 (E)
		G'	2.1	2.2	2.4	3.0	3.1	3.2	3.3	3.8	3.9	4.0	4.1
	300 mm c/c	Q	1.3 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)
		G'	2.3	2.7	2.9	3.3	3.6	3.9	4.1	4.4	4.6	4.9	5.1
	230 mm c/c	Q	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)
G'		2.4	2.7	3.1	3.4	3.7	4.1	4.3	4.6	4.9	5.1	5.4	
36/7	150 mm c/c	Q	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)
		G'	2.5	2.8	3.2	3.5	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7
	100 mm c/c	Q	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)
		G'	2.5	2.9	3.2	3.6	4.0	4.3	4.6	5.0	5.3	5.6	5.9
	75 mm c/c	Q	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)	1.4 (C)
		G'	2.5	2.9	3.3	3.7	4.0	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0
	36/7	900 mm c/c	Q	0.9 (C)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.1 (E)	1.0 (E)	0.9 (E)	0.8 (E)	1.0 (E)	0.9 (E)	0.8 (E)
G'			0.7	6.0	5.7	5.3	5.0	4.7	4.4	6.9	6.6	6.3	6.1
600 mm c/c		Q	1.7 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)	1.0 (E)	1.0 (E)
		G'	6.4	6.0	5.7	8.2	7.8	7.5	7.2	8.9	8.6	8.3	8.1
300 mm c/c		Q	2.2 (E)	2.3 (E)	2.0 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.9 (E)	1.8 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)
		G'	8.8	10.3	10.2	11.4	11.3	12.2	12.0	12.9	12.6	13.4	13.1
230 mm c/c		Q	2.6 (C)	2.7 (C)	2.7 (C)	2.4 (E)	2.5 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.4 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.3 (E)
	G'	10.2	11.4	12.4	12.4	13.2	13.9	13.9	14.5	15.0	14.9	15.4	
36/7	150 mm c/c	Q	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)
		G'	11.7	12.7	13.6	14.3	15.0	15.6	16.1	16.5	17.0	17.4	17.7
	100 mm c/c	Q	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)	2.8 (C)
		G'	12.8	14.1	14.9	15.9	16.6	17.4	17.9	18.5	18.9	19.5	19.8
	75 mm c/c	Q	2.9 (C)	2.9 (C)	2.9 (C)	2.9 (C)	2.9 (C)	2.9 (C)	2.9 (C)	2.9 (C)	2.9 (C)	2.9 (C)	2.9 (C)
		G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.4	18.2	18.9	19.5	20.0	20.5	21.0

Tableau D.2-1 : CANAM P-3606-22 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/9	900 mm c/c	Q	1.4 (C)	2.0 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)	1.0 (E)
		G'	1.1	6.2	5.8	5.5	5.1	4.8	4.5	7.0	6.7	6.4	6.1
	600 mm c/c	Q	2.3 (E)	2.0 (E)	1.7 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)
		G'	6.5	6.2	5.8	8.3	7.9	7.6	7.3	9.0	8.7	8.4	8.1
	300 mm c/c	Q	2.8 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)
		G'	8.9	10.4	10.3	11.5	11.3	12.3	12.1	12.9	12.7	13.4	13.2
	230 mm c/c	Q	3.3 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)	2.8 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.6 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.5 (E)
		G'	10.3	11.4	12.4	12.4	13.3	14.0	13.9	14.5	15.0	14.9	15.4
150 mm c/c	Q	3.7 (C)	3.7 (C)	3.7 (C)	3.7 (C)	3.7 (C)	3.7 (C)	3.6 (E)	3.6 (E)	3.5 (E)	3.5 (E)	3.4 (E)	
	G'	11.8	12.8	13.6	14.3	15.0	15.6	16.1	16.6	17.0	17.4	17.7	
100 mm c/c	Q	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	
	G'	12.8	14.1	14.9	15.9	16.6	17.4	17.9	18.5	18.9	19.5	19.8	
75 mm c/c	Q	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	3.8 (C)	
	G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.4	18.2	18.9	19.5	20.0	20.6	21.0	
36/11	900 mm c/c	Q	1.7 (C)	2.3 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.3 (E)	1.5 (E)	1.3 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)
		G'	1.3	6.3	5.9	5.5	5.2	4.9	4.6	7.0	6.7	6.5	6.2
	600 mm c/c	Q	2.7 (E)	2.3 (E)	2.0 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)
		G'	6.6	6.3	5.9	8.3	8.0	7.7	7.4	9.1	8.8	8.5	8.2
	300 mm c/c	Q	3.2 (E)	3.2 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)
		G'	9.0	10.4	10.3	11.5	11.3	12.3	12.1	12.9	12.7	13.4	13.2
	230 mm c/c	Q	3.7 (E)	3.6 (E)	3.5 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.7 (E)
		G'	10.3	11.5	12.4	12.5	13.3	14.0	13.9	14.5	15.0	14.9	15.4
150 mm c/c	Q	4.5 (C)	4.5 (E)	4.3 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.7 (E)	3.6 (E)	3.6 (E)	
	G'	11.8	12.8	13.6	14.4	15.0	15.6	16.1	16.6	17.0	17.4	17.7	
100 mm c/c	Q	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	
	G'	12.8	14.1	15.0	15.9	16.6	17.4	17.9	18.5	18.9	19.5	19.8	
75 mm c/c	Q	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	
	G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.5	18.2	18.9	19.5	20.0	20.6	21.0	

Tableau D.2-1 : CANAM P-3606-22 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/13	900 mm c/c	Q	1.8 (C)	2.5 (E)	2.2 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)	1.4 (E)	1.6 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.3 (E)
		G'	1.4	6.3	5.9	5.6	5.3	4.9	4.7	7.1	6.8	6.5	6.2
	600 mm c/c	Q	2.9 (E)	2.5 (E)	2.2 (E)	2.3 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)
		G'	6.6	6.3	5.9	8.3	8.0	7.7	7.4	9.1	8.8	8.5	8.2
	300 mm c/c	Q	3.4 (E)	3.4 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.7 (E)	2.4 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.3 (E)	2.2 (E)
		G'	9.0	10.4	10.4	11.5	11.4	12.3	12.1	12.9	12.7	13.4	13.2
	230 mm c/c	Q	3.9 (E)	3.8 (E)	3.7 (E)	3.3 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.7 (E)
		G'	10.3	11.5	12.4	12.5	13.3	14.0	13.9	14.5	15.1	14.9	15.4
150 mm c/c	Q	4.9 (E)	4.6 (E)	4.4 (E)	4.3 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)	3.8 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	
	G'	11.8	12.8	13.6	14.4	15.0	15.6	16.1	16.6	17.0	17.4	17.7	
100 mm c/c	Q	5.5 (C)	5.5 (C)	5.5 (C)	5.5 (C)	5.5 (C)	5.5 (C)	5.4 (E)	5.5 (E)	5.3 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	
	G'	12.8	14.1	15.0	15.9	16.6	17.4	17.9	18.5	18.9	19.5	19.8	
75 mm c/c	Q	5.6 (C)	5.6 (C)	5.6 (C)	5.6 (C)	5.6 (C)	5.6 (C)	5.6 (C)	5.6 (C)	5.6 (C)	5.6 (C)	5.6 (C)	
	G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.5	18.2	18.9	19.5	20.0	20.6	21.0	
36/14	900 mm c/c	Q	1.8 (C)	2.5 (E)	2.2 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)	1.4 (E)	1.6 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.3 (E)
		G'	1.4	6.3	5.9	5.6	5.3	4.9	4.7	7.1	6.8	6.5	6.2
	600 mm c/c	Q	2.9 (E)	2.5 (E)	2.2 (E)	2.3 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)
		G'	6.6	6.3	5.9	8.3	8.0	7.7	7.4	9.1	8.8	8.5	8.2
	300 mm c/c	Q	3.4 (E)	3.4 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.7 (E)	2.4 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.3 (E)	2.2 (E)
		G'	9.0	10.4	10.4	11.5	11.4	12.3	12.1	12.9	12.7	13.4	13.2
	230 mm c/c	Q	3.9 (E)	3.8 (E)	3.7 (E)	3.3 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.7 (E)
		G'	10.3	11.5	12.4	12.5	13.3	14.0	13.9	14.5	15.1	14.9	15.4
150 mm c/c	Q	4.9 (E)	4.6 (E)	4.4 (E)	4.3 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)	3.8 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	
	G'	11.8	12.8	13.6	14.4	15.0	15.6	16.1	16.6	17.0	17.4	17.7	
100 mm c/c	Q	5.9 (C)	6.0 (C)	5.9 (E)	5.9 (E)	5.6 (E)	5.6 (E)	5.4 (E)	5.5 (E)	5.3 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	
	G'	12.8	14.1	15.0	15.9	16.6	17.4	17.9	18.5	18.9	19.5	19.8	
75 mm c/c	Q	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	
	G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.5	18.2	18.9	19.5	20.0	20.6	21.0	

Tableau D.2-1 : CANAM P-3606-22 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/18	900 mm c/c	Q	2.9 (C)	3.6 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)
		G'	2.1	6.6	6.2	5.9	5.5	5.2	4.9	7.3	7.0	6.7	6.4
	600 mm c/c	Q	4.2 (E)	3.6 (E)	3.1 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)
		G'	6.9	6.6	6.2	8.5	8.2	7.9	7.6	9.2	8.9	8.6	8.3
	300 mm c/c	Q	4.7 (E)	4.4 (E)	3.9 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.3 (E)	3.1 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)
		G'	9.1	10.5	10.5	11.6	11.5	12.4	12.2	13.0	12.8	13.5	13.3
	230 mm c/c	Q	5.2 (E)	4.8 (E)	4.6 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.6 (E)	3.5 (E)	3.5 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)
		G'	10.4	11.5	12.5	12.6	13.3	14.0	14.0	14.6	15.1	15.0	15.5
	150 mm c/c	Q	6.2 (E)	5.7 (E)	5.4 (E)	5.1 (E)	4.9 (E)	4.7 (E)	4.5 (E)	4.4 (E)	4.3 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)
		G'	11.8	12.8	13.7	14.4	15.1	15.6	16.1	16.6	17.0	17.4	17.8
	100 mm c/c	Q	7.6 (C)	7.4 (E)	6.8 (E)	6.7 (E)	6.4 (E)	6.3 (E)	6.0 (E)	6.0 (E)	5.8 (E)	5.8 (E)	5.6 (E)
		G'	12.9	14.1	15.0	15.9	16.6	17.4	17.9	18.6	19.0	19.5	19.8
	75 mm c/c	Q	7.8 (C)	7.8 (C)	7.8 (C)	7.8 (C)	7.8 (C)	7.7 (E)	7.5 (E)	7.4 (E)	7.3 (E)	7.2 (E)	7.1 (E)
		G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.6	21.0
36/22	900 mm c/c	Q	3.4 (C)	4.3 (E)	3.7 (E)	3.3 (E)	3.0 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)
		G'	2.5	6.7	6.4	6.0	5.7	5.4	5.1	7.4	7.1	6.8	6.5
	600 mm c/c	Q	4.9 (C)	4.3 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	3.3 (E)	3.0 (E)	2.7 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)
		G'	7.1	6.7	6.4	8.6	8.3	8.0	7.7	9.3	9.0	8.7	8.4
	300 mm c/c	Q	5.5 (E)	5.1 (E)	4.5 (E)	4.3 (E)	3.9 (E)	3.8 (E)	3.5 (E)	3.4 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)
		G'	9.2	10.6	10.5	11.6	11.5	12.4	12.3	13.1	12.9	13.5	13.3
	230 mm c/c	Q	6.0 (E)	5.6 (E)	5.2 (E)	4.6 (E)	4.5 (E)	4.3 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.8 (E)	3.6 (E)	3.5 (E)
		G'	10.5	11.6	12.5	12.6	13.4	14.1	14.0	14.6	15.1	15.0	15.5
	150 mm c/c	Q	7.0 (E)	6.4 (E)	6.0 (E)	5.6 (E)	5.4 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	4.8 (E)	4.7 (E)	4.6 (E)	4.5 (E)
		G'	11.9	12.8	13.7	14.4	15.1	15.7	16.2	16.6	17.0	17.4	17.8
	100 mm c/c	Q	8.5 (E)	8.1 (E)	7.5 (E)	7.3 (E)	6.9 (E)	6.8 (E)	6.5 (E)	6.4 (E)	6.2 (E)	6.1 (E)	5.9 (E)
		G'	12.9	14.1	15.0	16.0	16.6	17.4	17.9	18.6	19.0	19.5	19.8
	75 mm c/c	Q	9.5 (C)	9.4 (E)	9.0 (E)	8.6 (E)	8.3 (E)	8.1 (E)	7.9 (E)	7.8 (E)	7.7 (E)	7.5 (E)	7.4 (E)
		G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.6	21.0

Tableau D.2-1 : CANAM P-3606-22 - Clou toit #11 1-1/2 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/28	900 mm c/c	Q	3.7 (C)	4.6 (C)	4.1 (E)	3.6 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.2 (E)
		G'	2.7	6.8	6.5	6.1	5.8	5.5	5.2	7.4	7.1	6.8	6.6
	600 mm c/c	Q	5.3 (C)	4.6 (C)	4.1 (E)	3.9 (E)	3.5 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.4 (E)
		G'	7.1	6.8	6.5	8.7	8.4	8.1	7.7	9.4	9.1	8.8	8.5
	300 mm c/c	Q	5.9 (E)	5.5 (E)	4.8 (E)	4.6 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)	3.6 (E)	3.4 (E)	3.3 (E)	3.1 (E)
		G'	9.2	10.6	10.6	11.7	11.6	12.5	12.3	13.1	12.9	13.6	13.4
	230 mm c/c	Q	6.4 (E)	5.9 (E)	5.5 (E)	4.9 (E)	4.7 (E)	4.6 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)
		G'	10.5	11.6	12.5	12.6	13.4	14.1	14.0	14.6	15.2	15.0	15.5
	150 mm c/c	Q	7.4 (E)	6.8 (E)	6.3 (E)	5.9 (E)	5.6 (E)	5.4 (E)	5.2 (E)	5.0 (E)	4.8 (E)	4.7 (E)	4.6 (E)
		G'	11.9	12.8	13.7	14.4	15.1	15.7	16.2	16.6	17.1	17.4	17.8
	100 mm c/c	Q	8.9 (E)	8.5 (E)	7.8 (E)	7.6 (E)	7.1 (E)	7.0 (E)	6.7 (E)	6.6 (E)	6.3 (E)	6.3 (E)	6.1 (E)
		G'	12.9	14.1	15.0	16.0	16.6	17.4	17.9	18.6	19.0	19.5	19.8
	75 mm c/c	Q	10.4 (E)	9.8 (E)	9.3 (E)	8.9 (E)	8.6 (E)	8.4 (E)	8.2 (E)	8.0 (E)	7.8 (E)	7.7 (E)	7.6 (E)
		G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.6	21.0

D.3. CANAM P-3606-20 – SST-HJ

Tableau D.3-1 : CANAM P-3606-20 – SST-HJ

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/4	900 mm c/c	Q G'	0.8 (C) 1.0	1.5 (E) 3.2	1.3 (E) 3.3	1.1 (E) 3.4	1.0 (E) 3.4	0.9 (E) 3.4	0.8 (E) 3.4	1.1 (E) 4.6	1.0 (E) 4.6	0.9 (E) 4.6	0.9 (E) 4.5
	600 mm c/c	Q G'	1.7 (C) 3.0	1.5 (E) 3.2	1.3 (E) 3.3	1.6 (E) 4.2	1.4 (E) 4.3	1.3 (E) 4.4	1.2 (E) 4.5	1.4 (E) 5.3	1.3 (E) 5.4	1.2 (E) 5.4	1.1 (E) 5.4
	300 mm c/c	Q G'	1.8 (C) 3.4	1.9 (C) 3.9	1.8 (C) 4.3	1.9 (C) 4.8	1.8 (C) 5.1	1.9 (C) 5.6	1.8 (C) 5.8	1.9 (C) 6.3	1.9 (C) 6.5	1.9 (C) 6.9	1.9 (C) 7.1
	230 mm c/c	Q G'	1.9 (C) 3.5	1.9 (C) 4.1	1.9 (C) 4.6	1.9 (C) 5.0	1.9 (C) 5.4	1.9 (C) 5.9	1.9 (C) 6.2	1.9 (C) 6.6	1.9 (C) 7.0	1.9 (C) 7.3	1.9 (C) 7.7
	150 mm c/c	Q G'	1.9 (C) 3.7	1.9 (C) 4.2	1.9 (C) 4.7	1.9 (C) 5.2	1.9 (C) 5.7	1.9 (C) 6.1	1.9 (C) 6.6	1.9 (C) 7.0	1.9 (C) 7.4	1.9 (C) 7.8	1.9 (C) 8.2
	100 mm c/c	Q G'	1.9 (C) 3.8	1.9 (C) 4.3	1.9 (C) 4.9	1.9 (C) 5.4	1.9 (C) 5.9	1.9 (C) 6.4	1.9 (C) 6.8	1.9 (C) 7.3	1.9 (C) 7.7	1.9 (C) 8.1	1.9 (C) 8.5
	75 mm c/c	Q G'	1.9 (C) 3.8	1.9 (C) 4.4	1.9 (C) 4.9	1.9 (C) 5.5	1.9 (C) 6.0	1.9 (C) 6.5	1.9 (C) 7.0	1.9 (C) 7.4	1.9 (C) 7.9	1.9 (C) 8.3	1.9 (C) 8.7
36/7	900 mm c/c	Q G'	1.2 (C) 1.9	2.0 (E) 7.6	1.7 (E) 7.1	1.5 (E) 6.6	1.4 (E) 6.2	1.2 (E) 5.8	1.1 (E) 5.4	1.3 (E) 8.3	1.2 (E) 7.9	1.2 (E) 7.5	1.1 (E) 7.2
	600 mm c/c	Q G'	2.3 (E) 8.2	2.0 (E) 7.6	1.7 (E) 7.1	2.0 (E) 10.1	1.8 (E) 9.6	1.6 (E) 9.1	1.5 (E) 8.7	1.7 (E) 10.7	1.5 (E) 10.3	1.4 (E) 9.9	1.3 (E) 9.5
	300 mm c/c	Q G'	3.0 (E) 11.4	3.1 (E) 13.2	2.7 (E) 12.9	2.9 (E) 14.3	2.6 (E) 14.0	2.7 (E) 15.1	2.5 (E) 14.8	2.6 (E) 15.7	2.4 (E) 15.4	2.5 (E) 16.2	2.3 (E) 15.9
	230 mm c/c	Q G'	3.5 (C) 13.3	3.6 (C) 14.7	3.6 (C) 15.8	3.3 (E) 15.7	3.4 (E) 16.6	3.4 (E) 17.4	3.1 (E) 17.2	3.2 (E) 17.9	3.3 (E) 18.5	3.0 (E) 18.2	3.1 (E) 18.8
	150 mm c/c	Q G'	3.8 (C) 15.6	3.8 (C) 16.7	3.8 (C) 17.6	3.8 (C) 18.4	3.8 (C) 19.1	3.8 (C) 19.8	3.8 (C) 20.3	3.8 (C) 20.8	3.8 (C) 21.2	3.8 (C) 21.6	3.8 (C) 22.0
	100 mm c/c	Q G'	3.9 (C) 17.3	3.9 (C) 18.7	3.9 (C) 19.7	3.9 (C) 20.8	3.9 (C) 21.5	3.9 (C) 22.4	3.9 (C) 22.9	3.9 (C) 23.6	3.9 (C) 24.0	3.9 (C) 24.6	3.9 (C) 24.9
	75 mm c/c	Q G'	3.9 (C) 18.2	3.9 (C) 19.6	3.9 (C) 20.8	3.9 (C) 21.9	3.9 (C) 22.8	3.9 (C) 23.7	3.9 (C) 24.4	3.9 (C) 25.1	3.9 (C) 25.7	3.9 (C) 26.2	3.9 (C) 26.7

Tableau D.3-1 : CANAM P-3606-20 – SST-HJ (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/9	900 mm c/c	Q	1.9 (C)	2.7 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)
		G'	2.8	8.0	7.5	7.0	6.6	6.2	5.8	8.5	8.1	7.8	7.4
	600 mm c/c	Q	3.1 (E)	2.7 (E)	2.3 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)
		G'	8.6	8.0	7.5	10.3	9.9	9.4	9.0	11.0	10.5	10.1	9.7
	300 mm c/c	Q	3.8 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.7 (E)
		G'	11.6	13.4	13.1	14.5	14.1	15.3	14.9	15.9	15.5	16.3	16.0
	230 mm c/c	Q	4.5 (E)	4.4 (E)	4.4 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)	3.6 (E)	3.6 (E)	3.6 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)
		G'	13.5	14.8	15.9	15.8	16.7	17.5	17.3	18.0	18.6	18.3	18.9
150 mm c/c	Q	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.8 (E)	4.8 (E)	4.7 (E)	4.7 (E)	
	G'	15.6	16.7	17.7	18.5	19.2	19.8	20.4	20.8	21.3	21.7	22.0	
100 mm c/c	Q	5.1 (C)	5.1 (C)	5.1 (C)	5.1 (C)	5.1 (C)	5.1 (C)	5.1 (C)	5.1 (C)	5.1 (C)	5.1 (C)	5.1 (C)	
	G'	17.3	18.8	19.7	20.9	21.5	22.4	22.9	23.7	24.1	24.7	25.0	
75 mm c/c	Q	5.2 (C)	5.2 (C)	5.2 (C)	5.2 (C)	5.2 (C)	5.2 (C)	5.2 (C)	5.2 (C)	5.2 (C)	5.2 (C)	5.2 (C)	
	G'	18.2	19.6	20.9	21.9	22.9	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7	
36/11	900 mm c/c	Q	2.3 (C)	3.2 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)
		G'	3.3	8.3	7.8	7.3	6.8	6.4	6.0	8.7	8.3	7.9	7.6
	600 mm c/c	Q	3.7 (E)	3.2 (E)	2.8 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)
		G'	8.8	8.3	7.8	10.5	10.0	9.6	9.1	11.1	10.7	10.3	9.9
	300 mm c/c	Q	4.4 (E)	4.3 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.5 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)
		G'	11.7	13.5	13.2	14.6	14.2	15.3	15.0	15.9	15.6	16.4	16.1
	230 mm c/c	Q	5.1 (E)	4.9 (E)	4.8 (E)	4.3 (E)	4.2 (E)	4.2 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)	3.6 (E)	3.6 (E)
		G'	13.6	14.9	16.0	15.9	16.8	17.6	17.4	18.0	18.7	18.4	18.9
150 mm c/c	Q	6.0 (C)	6.0 (C)	5.8 (E)	5.6 (E)	5.4 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	5.0 (E)	4.9 (E)	
	G'	15.7	16.8	17.7	18.5	19.2	19.9	20.4	20.9	21.3	21.7	22.1	
100 mm c/c	Q	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	
	G'	17.3	18.8	19.7	20.9	21.6	22.5	23.0	23.7	24.1	24.7	25.0	
75 mm c/c	Q	6.4 (C)	6.4 (C)	6.4 (C)	6.4 (C)	6.4 (C)	6.4 (C)	6.4 (C)	6.4 (C)	6.4 (C)	6.4 (C)	6.4 (C)	
	G'	18.2	19.6	20.9	21.9	22.9	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7	

Tableau D.3-1 : CANAM P-3606-20 – SST-HJ (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/13	900 mm c/c	Q	2.4 (C)	3.4 (E)	3.0 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)
		G'	3.5	8.4	7.9	7.4	6.9	6.5	6.1	8.8	8.4	8.0	7.7
	600 mm c/c	Q	4.0 (E)	3.4 (E)	3.0 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.4 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)
		G'	8.9	8.4	7.9	10.6	10.1	9.7	9.2	11.2	10.7	10.3	10.0
	300 mm c/c	Q	4.7 (E)	4.6 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	3.6 (E)	3.6 (E)	3.3 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)
		G'	11.8	13.5	13.3	14.6	14.3	15.4	15.0	16.0	15.6	16.4	16.1
	230 mm c/c	Q	5.3 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	4.4 (E)	4.4 (E)	4.4 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)
		G'	13.6	14.9	16.0	15.9	16.8	17.6	17.4	18.1	18.7	18.4	18.9
150 mm c/c	Q	6.7 (E)	6.3 (E)	6.0 (E)	5.8 (E)	5.6 (E)	5.5 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	5.1 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	
	G'	15.7	16.8	17.8	18.6	19.3	19.9	20.4	20.9	21.3	21.7	22.1	
100 mm c/c	Q	7.4 (C)	7.5 (C)	7.4 (C)	7.4 (C)	7.4 (C)	7.4 (C)	7.4 (E)	7.4 (E)	7.2 (E)	7.2 (E)	7.0 (E)	
	G'	17.3	18.8	19.8	20.9	21.6	22.5	23.0	23.7	24.1	24.7	25.0	
75 mm c/c	Q	7.6 (C)	7.6 (C)	7.6 (C)	7.6 (C)	7.6 (C)	7.6 (C)	7.6 (C)	7.6 (C)	7.6 (C)	7.6 (C)	7.6 (C)	
	G'	18.2	19.7	20.9	21.9	22.9	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7	
36/14	900 mm c/c	Q	2.5 (C)	3.4 (E)	3.0 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)
		G'	3.5	8.4	7.9	7.4	6.9	6.5	6.1	8.8	8.4	8.0	7.7
	600 mm c/c	Q	4.0 (E)	3.4 (E)	3.0 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.4 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)
		G'	8.9	8.4	7.9	10.6	10.1	9.7	9.2	11.2	10.7	10.3	10.0
	300 mm c/c	Q	4.7 (E)	4.6 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	3.6 (E)	3.6 (E)	3.3 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)
		G'	11.8	13.5	13.3	14.6	14.3	15.4	15.0	16.0	15.6	16.4	16.1
	230 mm c/c	Q	5.3 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	4.4 (E)	4.4 (E)	4.4 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)
		G'	13.6	14.9	16.0	15.9	16.8	17.6	17.4	18.1	18.7	18.4	18.9
150 mm c/c	Q	6.7 (E)	6.3 (E)	6.0 (E)	5.8 (E)	5.6 (E)	5.5 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	5.1 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	
	G'	15.7	16.8	17.8	18.6	19.3	19.9	20.4	20.9	21.3	21.7	22.1	
100 mm c/c	Q	8.0 (C)	8.0 (C)	8.0 (C)	8.0 (C)	7.6 (E)	7.7 (E)	7.4 (E)	7.4 (E)	7.2 (E)	7.2 (E)	7.0 (E)	
	G'	17.3	18.8	19.8	20.9	21.6	22.5	23.0	23.7	24.1	24.7	25.0	
75 mm c/c	Q	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	
	G'	18.2	19.7	20.9	21.9	22.9	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7	

Tableau D.3-1 : CANAM P-3606-20 – SST-HJ (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/18	900 mm c/c	Q	4.0 (C)	4.9 (E)	4.2 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)
		G'	4.9	9.1	8.6	8.1	7.6	7.2	6.8	9.3	8.9	8.5	8.1
	600 mm c/c	Q	5.7 (E)	4.9 (E)	4.2 (E)	4.2 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)
		G'	9.6	9.1	8.6	11.1	10.6	10.2	9.7	11.6	11.1	10.7	10.3
	300 mm c/c	Q	6.3 (E)	6.0 (E)	5.3 (E)	5.1 (E)	4.6 (E)	4.5 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)	3.8 (E)	3.9 (E)	3.6 (E)
		G'	12.2	13.8	13.6	14.9	14.6	15.6	15.3	16.2	15.9	16.7	16.3
	230 mm c/c	Q	7.0 (E)	6.6 (E)	6.3 (E)	5.6 (E)	5.4 (E)	5.3 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)	4.7 (E)	4.4 (E)	4.4 (E)
		G'	13.9	15.2	16.2	16.1	17.0	17.8	17.6	18.2	18.8	18.6	19.1
150 mm c/c	Q	8.4 (E)	7.7 (E)	7.3 (E)	6.9 (E)	6.6 (E)	6.4 (E)	6.2 (E)	6.0 (E)	5.9 (E)	5.7 (E)	5.6 (E)	
	G'	15.8	17.0	17.9	18.7	19.4	20.0	20.5	21.0	21.4	21.8	22.2	
100 mm c/c	Q	10.1 (C)	10.1 (E)	9.3 (E)	9.2 (E)	8.6 (E)	8.6 (E)	8.2 (E)	8.2 (E)	7.9 (E)	7.9 (E)	7.7 (E)	
	G'	17.4	18.9	19.8	21.0	21.6	22.5	23.0	23.8	24.1	24.8	25.0	
75 mm c/c	Q	10.5 (C)	10.5 (C)	10.5 (C)	10.5 (C)	10.5 (C)	10.4 (E)	10.2 (E)	10.1 (E)	9.9 (E)	9.8 (E)	9.7 (E)	
	G'	18.3	19.7	20.9	22.0	22.9	23.8	24.5	25.1	25.7	26.3	26.8	
36/22	900 mm c/c	Q	4.7 (C)	5.7 (C)	5.1 (E)	4.5 (E)	4.1 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)
		G'	5.7	9.6	9.1	8.6	8.1	7.6	7.2	9.6	9.2	8.8	8.5
	600 mm c/c	Q	6.5 (C)	5.7 (C)	5.1 (E)	5.0 (E)	4.5 (E)	4.1 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	3.5 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)
		G'	10.0	9.6	9.1	11.4	11.0	10.5	10.0	11.8	11.4	11.0	10.6
	300 mm c/c	Q	7.5 (E)	7.0 (E)	6.1 (E)	5.9 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	4.7 (E)	4.7 (E)	4.3 (E)	4.3 (E)	4.0 (E)
		G'	12.5	14.0	13.8	15.1	14.8	15.8	15.5	16.4	16.0	16.8	16.4
	230 mm c/c	Q	8.1 (E)	7.6 (E)	7.1 (E)	6.3 (E)	6.1 (E)	5.9 (E)	5.4 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)
		G'	14.0	15.3	16.4	16.3	17.2	17.9	17.7	18.4	18.9	18.7	19.2
150 mm c/c	Q	9.5 (E)	8.7 (E)	8.1 (E)	7.7 (E)	7.3 (E)	7.0 (E)	6.7 (E)	6.5 (E)	6.3 (E)	6.2 (E)	6.1 (E)	
	G'	15.9	17.0	18.0	18.8	19.5	20.1	20.6	21.1	21.5	21.9	22.2	
100 mm c/c	Q	11.5 (E)	11.0 (E)	10.1 (E)	9.9 (E)	9.3 (E)	9.2 (E)	8.8 (E)	8.7 (E)	8.4 (E)	8.4 (E)	8.1 (E)	
	G'	17.4	18.9	19.9	21.0	21.7	22.6	23.1	23.8	24.2	24.8	25.1	
75 mm c/c	Q	12.7 (C)	12.6 (C)	12.2 (E)	11.7 (E)	11.3 (E)	11.0 (E)	10.8 (E)	10.6 (E)	10.4 (E)	10.2 (E)	10.1 (E)	
	G'	18.3	19.7	20.9	22.0	23.0	23.8	24.5	25.2	25.8	26.3	26.8	

Tableau D.3-1 : CANAM P-3606-20 – SST-HJ (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/28	900 mm c/c	Q	5.0 (C)	6.1 (C)	5.4 (C)	4.8 (C)	4.4 (C)	4.0 (I)	3.6 (I)	3.7 (E)	3.4 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)
		G'	6.1	9.8	9.3	8.8	8.3	7.8	7.4	9.8	9.4	9.0	8.6
	600 mm c/c	Q	6.9 (C)	6.1 (C)	5.4 (C)	5.3 (E)	4.8 (E)	4.4 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)	3.2 (E)
		G'	10.2	9.8	9.3	11.6	11.1	10.7	10.2	11.9	11.5	11.1	10.7
	300 mm c/c	Q	8.0 (E)	7.5 (E)	6.5 (E)	6.2 (E)	5.6 (E)	5.5 (E)	5.0 (E)	4.9 (E)	4.6 (E)	4.5 (E)	4.2 (E)
		G'	12.6	14.1	13.9	15.1	14.9	15.9	15.6	16.4	16.1	16.9	16.5
	230 mm c/c	Q	8.7 (E)	8.0 (E)	7.5 (E)	6.7 (E)	6.4 (E)	6.2 (E)	5.7 (E)	5.5 (E)	5.4 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)
		G'	14.1	15.4	16.4	16.4	17.2	18.0	17.8	18.4	19.0	18.7	19.2
	150 mm c/c	Q	10.1 (E)	9.2 (E)	8.5 (E)	8.0 (E)	7.6 (E)	7.3 (E)	7.0 (E)	6.8 (E)	6.6 (E)	6.4 (E)	6.3 (E)
		G'	16.0	17.1	18.0	18.8	19.5	20.1	20.6	21.1	21.5	21.9	22.3
	100 mm c/c	Q	12.1 (E)	11.5 (E)	10.6 (E)	10.3 (E)	9.7 (E)	9.5 (E)	9.0 (E)	9.0 (E)	8.6 (E)	8.6 (E)	8.3 (E)
		G'	17.5	18.9	19.9	21.0	21.7	22.6	23.1	23.8	24.2	24.8	25.1
	75 mm c/c	Q	14.1 (E)	13.2 (E)	12.6 (E)	12.1 (E)	11.7 (E)	11.3 (E)	11.1 (E)	10.8 (E)	10.6 (E)	10.5 (E)	10.3 (E)
		G'	18.3	19.7	21.0	22.0	23.0	23.8	24.5	25.2	25.8	26.3	26.8

D.4. CANAM P-3606-22 – SST-HJ

Tableau D.4-1 : CANAM P-3606-22 – SST-HJ

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/4	900 mm c/c	Q G'	0.8 (C) 0.9	1.4 (E) 2.3	1.2 (E) 2.4	1.1 (E) 2.5	1.0 (E) 2.6	0.9 (E) 2.6	0.8 (E) 2.6	1.0 (E) 3.4	1.0 (E) 3.5	0.9 (E) 3.5	0.8 (E) 3.5
	600 mm c/c	Q G'	1.5 (C) 2.1	1.4 (E) 2.3	1.2 (E) 2.4	1.5 (E) 3.0	1.4 (E) 3.1	1.2 (E) 3.3	1.1 (E) 3.4	1.3 (E) 3.9	1.2 (E) 4.0	1.1 (E) 4.1	1.1 (E) 4.1
	300 mm c/c	Q G'	1.7 (C) 2.3	1.7 (C) 2.7	1.7 (C) 3.0	1.7 (C) 3.3	1.7 (C) 3.6	1.7 (C) 3.9	1.7 (C) 4.1	1.7 (C) 4.4	1.7 (C) 4.6	1.7 (C) 4.9	1.7 (C) 5.1
	230 mm c/c	Q G'	1.8 (C) 2.4	1.8 (C) 2.8	1.8 (C) 3.1	1.8 (C) 3.4	1.8 (C) 3.7	1.8 (C) 4.1	1.8 (C) 4.3	1.8 (C) 4.6	1.8 (C) 4.9	1.8 (C) 5.1	1.8 (C) 5.4
	150 mm c/c	Q G'	1.8 (C) 2.5	1.8 (C) 2.8	1.8 (C) 3.2	1.8 (C) 3.5	1.8 (C) 3.9	1.8 (C) 4.2	1.8 (C) 4.5	1.8 (C) 4.8	1.8 (C) 5.1	1.8 (C) 5.4	1.8 (C) 5.7
	100 mm c/c	Q G'	1.8 (C) 2.5	1.8 (C) 2.9	1.8 (C) 3.3	1.8 (C) 3.6	1.8 (C) 4.0	1.8 (C) 4.3	1.8 (C) 4.6	1.8 (C) 5.0	1.8 (C) 5.3	1.8 (C) 5.6	1.8 (C) 5.9
	75 mm c/c	Q G'	1.8 (C) 2.5	1.8 (C) 2.9	1.8 (C) 3.3	1.8 (C) 3.7	1.8 (C) 4.0	1.8 (C) 4.4	1.8 (C) 4.7	1.8 (C) 5.0	1.8 (C) 5.4	1.8 (C) 5.7	1.8 (C) 6.0
36/7	900 mm c/c	Q G'	1.1 (C) 1.8	1.9 (E) 6.5	1.6 (E) 6.1	1.4 (E) 5.8	1.3 (E) 5.4	1.2 (E) 5.1	1.1 (E) 4.8	1.3 (E) 7.2	1.2 (E) 6.9	1.1 (E) 6.6	1.0 (E) 6.3
	600 mm c/c	Q G'	2.2 (E) 6.8	1.9 (E) 6.5	1.6 (E) 6.1	1.9 (E) 8.5	1.7 (E) 8.1	1.5 (E) 7.8	1.4 (E) 7.5	1.6 (E) 9.2	1.5 (E) 8.9	1.4 (E) 8.6	1.3 (E) 8.3
	300 mm c/c	Q G'	2.8 (E) 9.1	3.0 (E) 10.5	2.6 (E) 10.4	2.7 (E) 11.6	2.4 (E) 11.4	2.6 (E) 12.4	2.3 (E) 12.2	2.5 (E) 13.0	2.3 (E) 12.8	2.4 (E) 13.5	2.2 (E) 13.3
	230 mm c/c	Q G'	3.3 (C) 10.4	3.4 (C) 11.5	3.4 (C) 12.5	3.2 (E) 12.5	3.2 (E) 13.3	3.3 (E) 14.0	3.0 (E) 14.0	3.1 (E) 14.6	3.1 (E) 15.1	2.9 (E) 15.0	3.0 (E) 15.4
	150 mm c/c	Q G'	3.5 (C) 11.8	3.5 (C) 12.8	3.5 (C) 13.6	3.5 (C) 14.4	3.5 (C) 15.0	3.5 (C) 15.6	3.5 (C) 16.1	3.5 (C) 16.6	3.5 (C) 17.0	3.5 (C) 17.4	3.5 (C) 17.7
	100 mm c/c	Q G'	3.6 (C) 12.9	3.7 (C) 14.1	3.6 (C) 15.0	3.7 (C) 15.9	3.6 (C) 16.6	3.7 (C) 17.4	3.6 (C) 17.9	3.7 (C) 18.5	3.6 (C) 18.9	3.7 (C) 19.5	3.6 (C) 19.8
	75 mm c/c	Q G'	3.7 (C) 13.4	3.7 (C) 14.6	3.7 (C) 15.7	3.7 (C) 16.6	3.7 (C) 17.5	3.7 (C) 18.2	3.7 (C) 18.9	3.7 (C) 19.5	3.7 (C) 20.1	3.7 (C) 20.6	3.7 (C) 21.0

Tableau D.4-1 : CANAM P-3606-22 – SST-HJ (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/9	900 mm c/c	Q	1.8 (C)	2.6 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)
		G'	2.6	6.8	6.5	6.1	5.8	5.4	5.1	7.4	7.1	6.8	6.6
	600 mm c/c	Q	3.0 (E)	2.6 (E)	2.2 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	1.9 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)
		G'	7.1	6.8	6.5	8.7	8.4	8.1	7.7	9.3	9.0	8.8	8.5
	300 mm c/c	Q	3.6 (E)	3.7 (E)	3.2 (E)	3.3 (E)	2.9 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)
		G'	9.2	10.6	10.6	11.7	11.5	12.5	12.3	13.1	12.9	13.6	13.4
	230 mm c/c	Q	4.2 (C)	4.2 (E)	4.2 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)
		G'	10.5	11.6	12.5	12.6	13.4	14.1	14.0	14.6	15.2	15.0	15.5
150 mm c/c	Q	4.6 (C)	4.6 (C)	4.6 (C)	4.6 (C)	4.6 (C)	4.6 (C)	4.6 (C)	4.6 (C)	4.5 (E)	4.5 (E)	4.5 (E)	
	G'	11.9	12.8	13.7	14.4	15.1	15.7	16.2	16.6	17.1	17.4	17.8	
100 mm c/c	Q	4.8 (C)	4.8 (C)	4.8 (C)	4.8 (C)	4.8 (C)	4.8 (C)	4.8 (C)	4.8 (C)	4.8 (C)	4.8 (C)	4.8 (C)	
	G'	12.9	14.1	15.0	16.0	16.6	17.4	17.9	18.6	19.0	19.5	19.8	
75 mm c/c	Q	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	4.9 (C)	
	G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.6	21.0	
36/11	900 mm c/c	Q	2.2 (C)	3.0 (E)	2.6 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.9 (E)	1.8 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)
		G'	3.1	7.0	6.7	6.3	6.0	5.7	5.4	7.6	7.3	7.0	6.7
	600 mm c/c	Q	3.5 (E)	3.0 (E)	2.6 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.2 (E)	2.1 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)	1.8 (E)
		G'	7.3	7.0	6.7	8.8	8.5	8.2	7.9	9.5	9.2	8.9	8.6
	300 mm c/c	Q	4.2 (E)	4.1 (E)	3.6 (E)	3.6 (E)	3.2 (E)	3.3 (E)	3.0 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)
		G'	9.3	10.7	10.7	11.7	11.6	12.5	12.4	13.1	12.9	13.6	13.4
	230 mm c/c	Q	4.8 (E)	4.7 (E)	4.6 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)
		G'	10.5	11.7	12.6	12.7	13.5	14.1	14.1	14.7	15.2	15.1	15.5
150 mm c/c	Q	5.6 (C)	5.6 (C)	5.5 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	5.0 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.8 (E)	4.7 (E)	4.7 (E)	
	G'	11.9	12.9	13.7	14.5	15.1	15.7	16.2	16.7	17.1	17.5	17.8	
100 mm c/c	Q	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	5.9 (C)	
	G'	12.9	14.1	15.0	16.0	16.6	17.4	17.9	18.6	19.0	19.5	19.9	
75 mm c/c	Q	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	6.0 (C)	
	G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.6	21.0	

Tableau D.4-1 : CANAM P-3606-22 – SST-HJ (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/13	900 mm c/c	Q	2.3 (C)	3.2 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)
		G'	3.3	7.1	6.8	6.4	6.1	5.8	5.5	7.6	7.3	7.1	6.8
	600 mm c/c	Q	3.8 (C)	3.2 (E)	2.8 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)
		G'	7.4	7.1	6.8	8.9	8.6	8.3	8.0	9.5	9.2	8.9	8.6
	300 mm c/c	Q	4.4 (E)	4.3 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)
		G'	9.4	10.7	10.7	11.8	11.7	12.6	12.4	13.2	13.0	13.7	13.4
	230 mm c/c	Q	5.1 (E)	4.9 (E)	4.8 (E)	4.2 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.5 (E)	3.6 (E)
		G'	10.6	11.7	12.6	12.7	13.5	14.2	14.1	14.7	15.2	15.1	15.6
150 mm c/c	Q	6.4 (E)	6.0 (E)	5.7 (E)	5.5 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	4.9 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)	
	G'	11.9	12.9	13.7	14.5	15.1	15.7	16.2	16.7	17.1	17.5	17.8	
100 mm c/c	Q	6.9 (C)	7.0 (C)	6.9 (C)	7.0 (C)	6.9 (C)	7.0 (C)	6.9 (C)	6.9 (C)	6.8 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	
	G'	12.9	14.1	15.0	16.0	16.6	17.4	17.9	18.6	19.0	19.5	19.9	
75 mm c/c	Q	7.2 (C)	7.2 (C)	7.2 (C)	7.2 (C)	7.2 (C)	7.2 (C)	7.2 (C)	7.2 (C)	7.2 (C)	7.2 (C)	7.2 (C)	
	G'	13.4	14.7	15.7	16.7	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.6	21.1	
36/14	900 mm c/c	Q	2.3 (C)	3.2 (E)	2.8 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)
		G'	3.3	7.1	6.8	6.4	6.1	5.8	5.5	7.6	7.3	7.1	6.8
	600 mm c/c	Q	3.8 (E)	3.2 (E)	2.8 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)
		G'	7.4	7.1	6.8	8.9	8.6	8.3	8.0	9.5	9.2	8.9	8.6
	300 mm c/c	Q	4.4 (E)	4.3 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.4 (E)	3.2 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)
		G'	9.4	10.7	10.7	11.8	11.7	12.6	12.4	13.2	13.0	13.7	13.4
	230 mm c/c	Q	5.1 (E)	4.9 (E)	4.8 (E)	4.2 (E)	4.2 (E)	4.1 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.5 (E)	3.6 (E)
		G'	10.6	11.7	12.6	12.7	13.5	14.2	14.1	14.7	15.2	15.1	15.6
150 mm c/c	Q	6.4 (E)	6.0 (E)	5.7 (E)	5.5 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	4.9 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)	
	G'	11.9	12.9	13.7	14.5	15.1	15.7	16.2	16.7	17.1	17.5	17.8	
100 mm c/c	Q	7.4 (C)	7.5 (C)	7.4 (C)	7.5 (C)	7.3 (E)	7.3 (E)	7.0 (E)	7.0 (E)	6.8 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	
	G'	12.9	14.1	15.0	16.0	16.6	17.4	17.9	18.6	19.0	19.5	19.9	
75 mm c/c	Q	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	
	G'	13.4	14.7	15.7	16.7	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.6	21.1	

Tableau D.4-1 : CANAM P-3606-22 – SST-HJ (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/18	900 mm c/c	Q	3.8 (C)	4.6 (E)	4.0 (E)	3.6 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)
		G'	4.5	7.7	7.4	7.0	6.7	6.4	6.1	8.1	7.8	7.5	7.2
	600 mm c/c	Q	5.2 (C)	4.6 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	3.6 (E)	3.3 (E)	3.0 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.5 (E)
		G'	7.9	7.7	7.4	9.3	9.0	8.7	8.4	9.9	9.6	9.3	9.0
	300 mm c/c	Q	6.0 (E)	5.7 (E)	5.0 (E)	4.9 (E)	4.4 (E)	4.3 (E)	4.0 (E)	3.9 (E)	3.7 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)
		G'	9.7	11.0	11.0	12.0	11.9	12.8	12.6	13.4	13.2	13.8	13.6
	230 mm c/c	Q	6.7 (E)	6.3 (E)	6.0 (E)	5.3 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	4.6 (E)	4.5 (E)	4.5 (E)	4.2 (E)	4.2 (E)
		G'	10.8	11.8	12.8	12.9	13.6	14.3	14.2	14.8	15.3	15.2	15.7
150 mm c/c	Q	8.0 (E)	7.4 (E)	6.9 (E)	6.6 (E)	6.3 (E)	6.1 (E)	5.9 (E)	5.7 (E)	5.6 (E)	5.5 (E)	5.4 (E)	
	G'	12.0	13.0	13.8	14.6	15.2	15.8	16.3	16.8	17.2	17.5	17.9	
100 mm c/c	Q	9.4 (C)	9.4 (C)	8.8 (E)	8.7 (E)	8.2 (E)	8.2 (E)	7.8 (E)	7.8 (E)	7.5 (E)	7.5 (E)	7.3 (E)	
	G'	13.0	14.2	15.1	16.0	16.7	17.5	18.0	18.6	19.0	19.6	19.9	
75 mm c/c	Q	9.8 (C)	9.8 (C)	9.8 (C)	9.8 (C)	9.8 (C)	9.8 (C)	9.7 (E)	9.6 (E)	9.4 (E)	9.3 (E)	9.2 (E)	
	G'	13.5	14.7	15.7	16.7	17.5	18.3	18.9	19.5	20.1	20.6	21.1	
36/22	900 mm c/c	Q	4.5 (C)	5.3 (C)	4.7 (C)	4.2 (C)	3.8 (C)	3.5 (E)	3.2 (I)	3.2 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)
		G'	5.2	8.0	7.7	7.4	7.1	6.7	6.4	8.4	8.1	7.8	7.5
	600 mm c/c	Q	6.0 (C)	5.3 (C)	4.7 (C)	4.7 (E)	4.2 (E)	3.9 (E)	3.5 (E)	3.5 (E)	3.3 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)
		G'	8.2	8.0	7.7	9.5	9.3	9.0	8.7	10.1	9.8	9.5	9.2
	300 mm c/c	Q	7.1 (E)	6.6 (E)	5.8 (E)	5.6 (E)	5.0 (E)	4.9 (E)	4.5 (E)	4.4 (E)	4.1 (E)	4.1 (E)	3.8 (E)
		G'	9.9	11.1	11.1	12.1	12.0	12.9	12.7	13.5	13.3	13.9	13.7
	230 mm c/c	Q	7.7 (E)	7.2 (E)	6.8 (E)	6.0 (E)	5.8 (E)	5.6 (E)	5.1 (E)	5.0 (E)	4.9 (E)	4.6 (E)	4.6 (E)
		G'	10.9	11.9	12.9	13.0	13.7	14.4	14.3	14.9	15.4	15.3	15.8
150 mm c/c	Q	9.0 (E)	8.3 (E)	7.7 (E)	7.3 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	6.4 (E)	6.2 (E)	6.0 (E)	5.9 (E)	5.8 (E)	
	G'	12.1	13.1	13.9	14.6	15.3	15.8	16.4	16.8	17.2	17.6	17.9	
100 mm c/c	Q	11.0 (E)	10.5 (E)	9.6 (E)	9.4 (E)	8.9 (E)	8.7 (E)	8.3 (E)	8.3 (E)	8.0 (E)	7.9 (E)	7.7 (E)	
	G'	13.0	14.2	15.1	16.1	16.7	17.5	18.0	18.7	19.1	19.6	19.9	
75 mm c/c	Q	11.8 (C)	11.8 (C)	11.6 (E)	11.1 (E)	10.8 (E)	10.5 (E)	10.3 (E)	10.1 (E)	9.9 (E)	9.7 (E)	9.6 (E)	
	G'	13.5	14.7	15.8	16.7	17.5	18.3	19.0	19.6	20.1	20.6	21.1	

Tableau D.4-1 : CANAM P-3606-22 – SST-HJ (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/28	900 mm c/c	Q	4.7 (C)	5.6 (C)	4.9 (C)	4.4 (C)	4.0 (I)	3.6 (I)	3.3 (I)	3.5 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)
		G'	5.5	8.2	7.9	7.6	7.3	6.9	6.6	8.5	8.2	7.9	7.6
	600 mm c/c	Q	6.4 (C)	5.6 (C)	4.9 (C)	5.1 (E)	4.6 (E)	4.1 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)	3.5 (E)	3.3 (E)	3.1 (E)
		G'	8.4	8.2	7.9	9.7	9.4	9.1	8.8	10.2	9.9	9.6	9.3
	300 mm c/c	Q	7.6 (E)	7.1 (E)	6.2 (E)	5.9 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	4.8 (E)	4.7 (E)	4.3 (E)	4.3 (E)	4.0 (E)
		G'	10.0	11.2	11.2	12.2	12.1	13.0	12.8	13.5	13.4	14.0	13.8
	230 mm c/c	Q	8.3 (E)	7.6 (E)	7.2 (E)	6.4 (E)	6.1 (E)	5.9 (E)	5.4 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)
		G'	10.9	12.0	12.9	13.0	13.8	14.4	14.4	15.0	15.5	15.4	15.8
	150 mm c/c	Q	9.6 (E)	8.7 (E)	8.1 (E)	7.6 (E)	7.3 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	6.5 (E)	6.3 (E)	6.1 (E)	6.0 (E)
		G'	12.1	13.1	13.9	14.7	15.3	15.9	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0
	100 mm c/c	Q	11.5 (E)	10.9 (E)	10.0 (E)	9.8 (E)	9.2 (E)	9.0 (E)	8.6 (E)	8.5 (E)	8.2 (E)	8.2 (E)	7.9 (E)
		G'	13.0	14.2	15.1	16.1	16.7	17.5	18.0	18.7	19.1	19.6	19.9
	75 mm c/c	Q	13.4 (E)	12.6 (E)	12.0 (E)	11.5 (E)	11.1 (E)	10.8 (E)	10.5 (E)	10.3 (E)	10.1 (E)	9.9 (E)	9.8 (E)
		G'	13.5	14.7	15.8	16.7	17.5	18.3	19.0	19.6	20.1	20.6	21.1

D.5. CANAM P-3606-20 – Rotho-TBS-6x80

Tableau D.5-1 : CANAM P-3606-20 – Rotho-TBS-6x80

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/4	900 mm c/c	Q G'	1.0 (C) 1.4	1.9 (C) 3.2	1.7 (E) 3.4	1.5 (E) 3.5	1.3 (E) 3.5	1.2 (E) 3.5	1.1 (E) 3.5	1.4 (E) 4.6	1.3 (E) 4.6	1.2 (E) 4.6	1.1 (E) 4.6
	600 mm c/c	Q G'	2.0 (C) 3.0	1.9 (C) 3.2	1.7 (E) 3.4	2.1 (E) 4.2	1.9 (E) 4.4	1.7 (E) 4.5	1.5 (E) 4.6	1.8 (E) 5.3	1.7 (E) 5.4	1.6 (E) 5.5	1.5 (E) 5.5
	300 mm c/c	Q G'	2.3 (C) 3.4	2.4 (C) 3.9	2.3 (C) 4.3	2.4 (C) 4.8	2.3 (C) 5.1	2.4 (C) 5.6	2.3 (C) 5.9	2.4 (C) 6.3	2.3 (C) 6.5	2.4 (C) 6.9	2.3 (C) 7.1
	230 mm c/c	Q G'	2.4 (C) 3.5	2.4 (C) 4.1	2.4 (C) 4.6	2.4 (C) 5.0	2.4 (C) 5.4	2.4 (C) 5.9	2.4 (C) 6.2	2.4 (C) 6.6	2.4 (C) 7.0	2.4 (C) 7.3	2.4 (C) 7.7
	150 mm c/c	Q G'	2.5 (C) 3.7	2.5 (C) 4.2	2.5 (C) 4.7	2.5 (C) 5.2	2.5 (C) 5.7	2.5 (C) 6.1	2.5 (C) 6.6	2.5 (C) 7.0	2.5 (C) 7.4	2.5 (C) 7.8	2.5 (C) 8.2
	100 mm c/c	Q G'	2.5 (C) 3.8	2.5 (C) 4.3	2.5 (C) 4.9	2.5 (C) 5.4	2.5 (C) 5.9	2.5 (C) 6.4	2.5 (C) 6.8	2.5 (C) 7.3	2.5 (C) 7.7	2.5 (C) 8.1	2.5 (C) 8.5
	75 mm c/c	Q G'	2.5 (C) 3.8	2.5 (C) 4.4	2.5 (C) 4.9	2.5 (C) 5.5	2.5 (C) 6.0	2.5 (C) 6.5	2.5 (C) 7.0	2.5 (C) 7.4	2.5 (C) 7.9	2.5 (C) 8.3	2.5 (C) 8.7
36/7	900 mm c/c	Q G'	1.6 (C) 3.0	2.6 (E) 8.1	2.2 (E) 7.6	2.0 (E) 7.1	1.8 (E) 6.7	1.6 (E) 6.2	1.5 (E) 5.9	1.8 (E) 8.6	1.6 (E) 8.2	1.5 (E) 7.8	1.4 (E) 7.5
	600 mm c/c	Q G'	3.0 (E) 8.7	2.6 (E) 8.1	2.2 (E) 7.6	2.6 (E) 10.4	2.3 (E) 9.9	2.1 (E) 9.5	1.9 (E) 9.0	2.2 (E) 11.0	2.0 (E) 10.6	1.9 (E) 10.2	1.7 (E) 9.8
	300 mm c/c	Q G'	3.9 (E) 11.7	4.1 (E) 13.4	3.5 (E) 13.1	3.7 (E) 14.5	3.3 (E) 14.2	3.5 (E) 15.3	3.2 (E) 14.9	3.4 (E) 15.9	3.1 (E) 15.5	3.2 (E) 16.4	3.0 (E) 16.0
	230 mm c/c	Q G'	4.4 (C) 13.5	4.5 (C) 14.9	4.5 (C) 16.0	4.3 (E) 15.8	4.4 (E) 16.8	4.5 (E) 17.6	4.1 (E) 17.3	4.2 (E) 18.0	4.2 (E) 18.6	3.9 (E) 18.3	4.0 (E) 18.9
	150 mm c/c	Q G'	4.7 (C) 15.7	4.7 (C) 16.8	4.8 (C) 17.7	4.8 (C) 18.5	4.8 (C) 19.2	4.8 (C) 19.8	4.8 (C) 20.4	4.8 (C) 20.9	4.8 (C) 21.3	4.8 (C) 21.7	4.8 (C) 22.0
	100 mm c/c	Q G'	4.9 (C) 17.3	4.9 (C) 18.8	4.9 (C) 19.7	4.9 (C) 20.9	4.9 (C) 21.5	4.9 (C) 22.4	4.9 (C) 22.9	4.9 (C) 23.7	4.9 (C) 24.1	4.9 (C) 24.7	4.9 (C) 25.0
	75 mm c/c	Q G'	5.0 (C) 18.2	5.0 (C) 19.6	5.0 (C) 20.9	5.0 (C) 21.9	5.0 (C) 22.9	5.0 (C) 23.7	5.0 (C) 24.4	5.0 (C) 25.1	5.0 (C) 25.7	5.0 (C) 26.2	5.0 (C) 26.7

Tableau D.5-1 : CANAM P-3606-20 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/9	900 mm c/c	Q	2.5 (C)	3.5 (E)	3.0 (E)	2.7 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	1.8 (E)
		G'	4.2	8.7	8.2	7.7	7.2	6.8	6.4	9.0	8.6	8.2	7.9
	600 mm c/c	Q	4.1 (C)	3.5 (E)	3.0 (E)	3.3 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.4 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)
		G'	9.2	8.7	8.2	10.8	10.4	9.9	9.4	11.3	10.9	10.5	10.1
	300 mm c/c	Q	5.0 (E)	5.0 (E)	4.3 (E)	4.4 (E)	4.0 (E)	4.1 (E)	3.8 (E)	3.9 (E)	3.6 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)
		G'	12.0	13.7	13.4	14.7	14.4	15.5	15.2	16.1	15.7	16.5	16.2
	230 mm c/c	Q	5.6 (C)	5.7 (C)	5.7 (E)	5.0 (E)	5.0 (E)	5.0 (E)	4.6 (E)	4.7 (E)	4.7 (E)	4.4 (E)	4.4 (E)
		G'	13.7	15.0	16.1	16.0	16.9	17.7	17.5	18.2	18.7	18.5	19.0
150 mm c/c	Q	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (E)	
	G'	15.8	16.9	17.8	18.6	19.3	19.9	20.5	20.9	21.4	21.8	22.1	
100 mm c/c	Q	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	6.5 (C)	
	G'	17.4	18.8	19.8	20.9	21.6	22.5	23.0	23.7	24.1	24.7	25.0	
75 mm c/c	Q	6.6 (C)	6.6 (C)	6.6 (C)	6.6 (C)	6.6 (C)	6.6 (C)	6.6 (C)	6.6 (C)	6.6 (C)	6.6 (C)	6.6 (C)	
	G'	18.2	19.7	20.9	22.0	22.9	23.7	24.5	25.1	25.7	26.3	26.7	
36/11	900 mm c/c	Q	3.0 (C)	4.1 (E)	3.6 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.1 (E)
		G'	4.9	9.1	8.6	8.1	7.6	7.2	6.8	9.3	8.9	8.5	8.1
	600 mm c/c	Q	4.6 (C)	4.1 (E)	3.6 (E)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)
		G'	9.6	9.1	8.6	11.1	10.6	10.2	9.7	11.6	11.1	10.7	10.3
	300 mm c/c	Q	5.7 (E)	5.6 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.4 (E)	4.5 (E)	4.1 (E)	4.2 (E)	3.9 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)
		G'	12.2	13.8	13.6	14.9	14.6	15.6	15.3	16.2	15.9	16.7	16.3
	230 mm c/c	Q	6.5 (C)	6.3 (E)	6.2 (E)	5.5 (E)	5.5 (E)	5.4 (E)	5.0 (E)	5.0 (E)	5.0 (E)	4.7 (E)	4.7 (E)
		G'	13.9	15.2	16.2	16.1	17.0	17.8	17.6	18.2	18.8	18.6	19.1
150 mm c/c	Q	7.4 (C)	7.4 (C)	7.4 (C)	7.2 (E)	7.0 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	6.6 (E)	6.5 (E)	6.4 (E)	6.3 (E)	
	G'	15.8	17.0	17.9	18.7	19.4	20.0	20.5	21.0	21.4	21.8	22.2	
100 mm c/c	Q	7.9 (C)	8.0 (C)	7.9 (C)	8.0 (C)	7.9 (C)	7.9 (C)	7.9 (C)	7.9 (C)	7.9 (C)	7.9 (C)	7.9 (C)	
	G'	17.4	18.9	19.8	21.0	21.6	22.5	23.0	23.8	24.1	24.8	25.0	
75 mm c/c	Q	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	8.2 (C)	
	G'	18.3	19.7	20.9	22.0	22.9	23.8	24.5	25.1	25.7	26.3	26.8	

Tableau D.5-1 : CANAM P-3606-20 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/13	900 mm c/c	Q	3.2 (C)	4.4 (C)	3.9 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)
		G'	5.2	9.3	8.8	8.3	7.8	7.4	7.0	9.4	9.0	8.6	8.3
	600 mm c/c	Q	5.0 (C)	4.4 (C)	3.9 (E)	4.0 (E)	3.6 (E)	3.3 (E)	3.0 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.6 (E)
		G'	9.8	9.3	8.8	11.2	10.8	10.3	9.8	11.7	11.2	10.8	10.4
	300 mm c/c	Q	6.0 (E)	5.9 (E)	5.2 (E)	5.2 (E)	4.6 (E)	4.7 (E)	4.3 (E)	4.4 (E)	4.1 (E)	4.1 (E)	3.9 (E)
		G'	12.3	13.9	13.7	15.0	14.6	15.7	15.4	16.3	15.9	16.7	16.4
	230 mm c/c	Q	6.9 (E)	6.7 (E)	6.5 (E)	5.7 (E)	5.7 (E)	5.6 (E)	5.2 (E)	5.2 (E)	5.2 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)
		G'	13.9	15.2	16.3	16.2	17.1	17.8	17.6	18.3	18.9	18.6	19.1
150 mm c/c	Q	8.5 (C)	8.2 (E)	7.8 (E)	7.5 (E)	7.3 (E)	7.1 (E)	6.9 (E)	6.8 (E)	6.7 (E)	6.6 (E)	6.5 (E)	
	G'	15.9	17.0	17.9	18.7	19.4	20.0	20.6	21.0	21.5	21.8	22.2	
100 mm c/c	Q	9.3 (C)	9.3 (C)	9.3 (C)	9.3 (C)	9.2 (C)	9.3 (C)	9.2 (C)	9.3 (C)	9.2 (C)	9.3 (C)	9.1 (E)	
	G'	17.4	18.9	19.8	21.0	21.6	22.5	23.0	23.8	24.2	24.8	25.1	
75 mm c/c	Q	9.6 (C)	9.6 (C)	9.6 (C)	9.6 (C)	9.6 (C)	9.6 (C)	9.6 (C)	9.6 (C)	9.6 (C)	9.6 (C)	9.6 (C)	
	G'	18.3	19.7	20.9	22.0	22.9	23.8	24.5	25.2	25.7	26.3	26.8	
36/14	900 mm c/c	Q	3.2 (C)	4.4 (E)	3.9 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)
		G'	5.2	9.3	8.8	8.3	7.8	7.4	7.0	9.4	9.0	8.6	8.3
	600 mm c/c	Q	5.0 (C)	4.4 (E)	3.9 (E)	4.0 (E)	3.6 (E)	3.3 (E)	3.0 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.6 (E)
		G'	9.8	9.3	8.8	11.2	10.8	10.3	9.8	11.7	11.2	10.8	10.4
	300 mm c/c	Q	6.0 (E)	5.9 (E)	5.2 (E)	5.2 (E)	4.6 (E)	4.7 (E)	4.3 (E)	4.4 (E)	4.1 (E)	4.1 (E)	3.9 (E)
		G'	12.3	13.9	13.7	15.0	14.6	15.7	15.4	16.3	15.9	16.7	16.4
	230 mm c/c	Q	6.9 (E)	6.7 (E)	6.5 (E)	5.7 (E)	5.7 (E)	5.6 (E)	5.2 (E)	5.2 (E)	5.2 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)
		G'	13.9	15.2	16.3	16.2	17.1	17.8	17.6	18.3	18.9	18.6	19.1
150 mm c/c	Q	8.7 (E)	8.2 (E)	7.8 (E)	7.5 (E)	7.3 (E)	7.1 (E)	6.9 (E)	6.8 (E)	6.7 (E)	6.6 (E)	6.5 (E)	
	G'	15.9	17.0	17.9	18.7	19.4	20.0	20.6	21.0	21.5	21.8	22.2	
100 mm c/c	Q	9.9 (C)	10.0 (C)	9.9 (C)	9.9 (C)	9.9 (C)	9.9 (E)	9.5 (E)	9.6 (E)	9.3 (E)	9.3 (E)	9.1 (E)	
	G'	17.4	18.9	19.8	21.0	21.6	22.5	23.0	23.8	24.2	24.8	25.1	
75 mm c/c	Q	10.4 (C)	10.3 (C)	10.3 (C)	10.3 (C)	10.3 (C)	10.3 (C)	10.3 (C)	10.3 (C)	10.3 (C)	10.3 (C)	10.3 (C)	
	G'	18.3	19.7	20.9	22.0	22.9	23.8	24.5	25.2	25.7	26.3	26.8	

Tableau D.5-1 : CANAM P-3606-20 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/18	900 mm c/c	Q	5.1 (C)	6.1 (C)	5.4 (C)	4.9 (E)	4.4 (E)	4.0 (E)	3.6 (E)	3.8 (E)	3.5 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)
		G'	7.0	10.3	9.8	9.3	8.8	8.4	7.9	10.2	9.8	9.4	9.0
	600 mm c/c	Q	6.9 (C)	6.1 (C)	5.4 (C)	5.5 (E)	4.9 (E)	4.5 (E)	4.1 (E)	4.2 (E)	3.9 (E)	3.6 (E)	3.4 (E)
		G'	10.7	10.3	9.8	12.0	11.5	11.1	10.6	12.3	11.9	11.4	11.0
	300 mm c/c	Q	8.2 (E)	7.8 (E)	6.8 (E)	6.6 (E)	5.9 (E)	5.9 (E)	5.4 (E)	5.4 (E)	5.0 (E)	5.0 (E)	4.7 (E)
		G'	12.9	14.4	14.2	15.4	15.1	16.1	15.8	16.6	16.3	17.0	16.7
	230 mm c/c	Q	9.1 (E)	8.5 (E)	8.1 (E)	7.2 (E)	7.0 (E)	6.8 (E)	6.3 (E)	6.2 (E)	6.1 (E)	5.7 (E)	5.7 (E)
		G'	14.3	15.6	16.6	16.5	17.4	18.1	17.9	18.6	19.1	18.9	19.4
150 mm c/c	Q	10.8 (E)	10.0 (E)	9.4 (E)	8.9 (E)	8.6 (E)	8.2 (E)	8.0 (E)	7.8 (E)	7.6 (E)	7.4 (E)	7.3 (E)	
	G'	16.1	17.2	18.1	18.9	19.6	20.2	20.7	21.2	21.6	22.0	22.3	
100 mm c/c	Q	12.5 (C)	12.5 (C)	12.0 (E)	11.8 (E)	11.2 (E)	11.1 (E)	10.6 (E)	10.6 (E)	10.2 (E)	10.2 (E)	9.9 (E)	
	G'	17.5	19.0	19.9	21.1	21.7	22.6	23.1	23.9	24.2	24.8	25.1	
75 mm c/c	Q	13.2 (C)	13.1 (C)	13.1 (C)	13.1 (C)	13.1 (C)	13.0 (C)	13.0 (C)	13.0 (E)	12.8 (E)	12.6 (E)	12.5 (E)	
	G'	18.3	19.8	21.0	22.1	23.0	23.8	24.6	25.2	25.8	26.3	26.8	
36/22	900 mm c/c	Q	6.1 (C)	7.0 (C)	6.2 (C)	5.6 (C)	5.1 (C)	4.6 (I)	4.2 (I)	4.4 (E)	4.1 (E)	3.8 (E)	3.6 (E)
		G'	8.0	10.9	10.4	10.0	9.5	9.0	8.6	10.6	10.2	9.8	9.5
	600 mm c/c	Q	7.9 (C)	7.0 (C)	6.2 (C)	6.4 (E)	5.8 (E)	5.2 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)	4.5 (E)	4.2 (E)	3.9 (E)
		G'	11.3	10.9	10.4	12.4	12.0	11.5	11.1	12.7	12.2	11.8	11.4
	300 mm c/c	Q	9.5 (C)	9.0 (E)	7.9 (E)	7.6 (E)	6.8 (E)	6.7 (E)	6.1 (E)	6.0 (E)	5.6 (E)	5.6 (E)	5.2 (E)
		G'	13.2	14.6	14.5	15.6	15.4	16.3	16.0	16.9	16.5	17.3	16.9
	230 mm c/c	Q	10.5 (E)	9.8 (E)	9.2 (E)	8.2 (E)	7.9 (E)	7.6 (E)	7.0 (E)	6.8 (E)	6.7 (E)	6.3 (E)	6.2 (E)
		G'	14.6	15.8	16.8	16.8	17.6	18.3	18.1	18.7	19.3	19.0	19.5
150 mm c/c	Q	12.3 (E)	11.3 (E)	10.5 (E)	9.9 (E)	9.4 (E)	9.0 (E)	8.7 (E)	8.4 (E)	8.2 (E)	8.0 (E)	7.8 (E)	
	G'	16.2	17.3	18.3	19.0	19.7	20.3	20.8	21.3	21.7	22.1	22.4	
100 mm c/c	Q	14.6 (C)	14.2 (E)	13.1 (E)	12.8 (E)	12.0 (E)	11.9 (E)	11.3 (E)	11.3 (E)	10.8 (E)	10.8 (E)	10.4 (E)	
	G'	17.6	19.1	20.0	21.1	21.8	22.7	23.2	23.9	24.3	24.9	25.2	
75 mm c/c	Q	15.7 (C)	15.6 (C)	15.6 (C)	15.1 (E)	14.6 (E)	14.3 (E)	13.9 (E)	13.7 (E)	13.4 (E)	13.2 (E)	13.0 (E)	
	G'	18.4	19.8	21.0	22.1	23.0	23.9	24.6	25.3	25.8	26.4	26.9	

Tableau D.5-1 : CANAM P-3606-20 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/28	900 mm c/c	Q	6.4 (C)	7.4 (C)	6.5 (C)	5.8 (C)	5.3 (I)	4.8 (I)	4.3 (I)	4.8 (E)	4.4 (E)	4.1 (E)	3.9 (E)
		G'	8.4	11.2	10.7	10.2	9.8	9.3	8.9	10.9	10.5	10.1	9.7
	600 mm c/c	Q	8.4 (C)	7.4 (C)	6.5 (C)	6.9 (E)	6.2 (E)	5.6 (E)	5.2 (E)	5.2 (E)	4.8 (E)	4.5 (E)	4.2 (E)
		G'	11.5	11.2	10.7	12.6	12.2	11.8	11.3	12.8	12.4	12.0	11.6
	300 mm c/c	Q	10.2 (C)	9.6 (E)	8.4 (E)	8.1 (E)	7.3 (E)	7.1 (E)	6.5 (E)	6.4 (E)	5.9 (E)	5.9 (E)	5.5 (E)
		G'	13.4	14.8	14.7	15.8	15.5	16.5	16.2	17.0	16.6	17.4	17.0
	230 mm c/c	Q	11.3 (E)	10.4 (E)	9.7 (E)	8.7 (E)	8.3 (E)	8.0 (E)	7.3 (E)	7.2 (E)	7.0 (E)	6.6 (E)	6.5 (E)
		G'	14.7	15.9	16.9	16.9	17.7	18.4	18.2	18.8	19.4	19.1	19.6
	150 mm c/c	Q	13.0 (E)	11.9 (E)	11.0 (E)	10.4 (E)	9.9 (E)	9.4 (E)	9.1 (E)	8.8 (E)	8.5 (E)	8.3 (E)	8.1 (E)
		G'	16.3	17.4	18.3	19.1	19.8	20.4	20.9	21.4	21.8	22.1	22.5
	100 mm c/c	Q	15.6 (E)	14.9 (E)	13.7 (E)	13.3 (E)	12.5 (E)	12.3 (E)	11.7 (E)	11.6 (E)	11.1 (E)	11.1 (E)	10.7 (E)
		G'	17.6	19.1	20.0	21.2	21.8	22.7	23.2	23.9	24.3	24.9	25.2
	75 mm c/c	Q	18.2 (E)	17.1 (E)	16.3 (E)	15.6 (E)	15.1 (E)	14.7 (E)	14.3 (E)	14.0 (E)	13.7 (E)	13.5 (E)	13.3 (E)
		G'	18.4	19.8	21.1	22.1	23.1	23.9	24.6	25.3	25.9	26.4	26.9

D.6. CANAM P-3606-22 – Rotho-TBS-6x80

Tableau D.6-1 : CANAM P-3606-22 – Rotho-TBS-6x80

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/4	900 mm c/c	Q	1.0 (C)	1.8 (C)	1.6 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)	1.2 (E)	1.1 (E)
		G'	1.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	3.5	3.5	3.6	3.6
	600 mm c/c	Q	1.9 (C)	1.8 (C)	1.6 (E)	1.9 (C)	1.8 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.7 (E)	1.6 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)
		G'	2.1	2.3	2.5	3.0	3.2	3.3	3.4	3.9	4.0	4.1	4.2
	300 mm c/c	Q	2.2 (C)	2.2 (C)	2.2 (C)	2.2 (C)	2.2 (C)	2.2 (C)	2.2 (C)	2.2 (C)	2.2 (C)	2.2 (C)	2.2 (C)
		G'	2.3	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.1	4.5	4.6	5.0	5.1
	230 mm c/c	Q	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)
		G'	2.4	2.8	3.1	3.4	3.7	4.1	4.3	4.6	4.9	5.1	5.4
36/7	150 mm c/c	Q	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)	2.3 (C)
		G'	2.5	2.8	3.2	3.5	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7
	100 mm c/c	Q	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)
		G'	2.5	2.9	3.3	3.6	4.0	4.3	4.6	5.0	5.3	5.6	5.9
	75 mm c/c	Q	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)	2.4 (C)
		G'	2.5	2.9	3.3	3.7	4.0	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0
	900 mm c/c	Q	1.5 (C)	2.4 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.7 (E)	1.5 (E)	1.4 (E)	1.3 (E)
		G'	2.8	6.9	6.5	6.2	5.8	5.5	5.2	7.5	7.2	6.9	6.6
36/7	600 mm c/c	Q	2.8 (C)	2.4 (E)	2.1 (E)	2.4 (E)	2.2 (E)	2.0 (E)	1.8 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	1.8 (E)	1.7 (E)
		G'	7.2	6.9	6.5	8.7	8.4	8.1	7.8	9.4	9.1	8.8	8.5
	300 mm c/c	Q	3.6 (C)	3.9 (C)	3.4 (E)	3.5 (E)	3.2 (E)	3.3 (E)	3.1 (E)	3.2 (E)	3.0 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)
		G'	9.3	10.6	10.6	11.7	11.6	12.5	12.3	13.1	12.9	13.6	13.4
	230 mm c/c	Q	4.1 (C)	4.1 (C)	4.2 (C)	4.1 (C)	4.1 (C)	4.2 (C)	3.9 (E)	4.0 (E)	4.0 (E)	3.8 (E)	3.8 (E)
		G'	10.5	11.6	12.6	12.6	13.4	14.1	14.0	14.6	15.2	15.0	15.5
	150 mm c/c	Q	4.5 (C)	4.5 (C)	4.5 (C)	4.5 (C)	4.5 (C)	4.5 (C)	4.5 (C)	4.5 (C)	4.5 (C)	4.5 (C)	4.5 (C)
		G'	11.9	12.9	13.7	14.4	15.1	15.7	16.2	16.6	17.1	17.4	17.8
36/7	100 mm c/c	Q	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)
		G'	12.9	14.1	15.0	16.0	16.6	17.4	17.9	18.6	19.0	19.5	19.9
36/7	75 mm c/c	Q	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)	4.7 (C)
		G'	13.4	14.6	15.7	16.6	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.6	21.0

Tableau D.6-1 : CANAM P-3606-22 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/9	900 mm c/c	Q	2.4 (C)	3.3 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	1.9 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)	1.9 (E)	1.7 (E)
		G'	3.9	7.4	7.1	6.7	6.4	6.0	5.7	7.8	7.5	7.2	7.0
	600 mm c/c	Q	3.7 (C)	3.3 (E)	2.9 (E)	3.1 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.3 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.2 (E)	2.1 (E)
		G'	7.6	7.4	7.1	9.1	8.8	8.5	8.2	9.7	9.4	9.1	8.8
	300 mm c/c	Q	4.6 (C)	4.8 (E)	4.2 (E)	4.2 (E)	3.8 (E)	3.9 (E)	3.6 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)	3.5 (E)	3.3 (E)
		G'	9.5	10.8	10.8	11.9	11.8	12.7	12.5	13.3	13.1	13.7	13.5
	230 mm c/c	Q	5.1 (C)	5.2 (C)	5.3 (C)	4.8 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)	4.4 (E)	4.5 (E)	4.5 (E)	4.2 (E)	4.2 (E)
		G'	10.7	11.8	12.7	12.8	13.5	14.2	14.2	14.7	15.3	15.2	15.6
150 mm c/c	Q	5.7 (C)	5.7 (C)	5.7 (C)	5.7 (C)	5.7 (C)	5.7 (C)	5.7 (C)	5.7 (C)	5.7 (C)	5.7 (C)	5.7 (C)	
	G'	12.0	12.9	13.8	14.5	15.2	15.7	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	
100 mm c/c	Q	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	6.1 (C)	
	G'	12.9	14.2	15.0	16.0	16.7	17.4	18.0	18.6	19.0	19.6	19.9	
75 mm c/c	Q	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	6.3 (C)	
	G'	13.5	14.7	15.7	16.7	17.5	18.3	18.9	19.5	20.1	20.6	21.1	
36/11	900 mm c/c	Q	2.9 (C)	3.8 (C)	3.4 (C)	3.0 (E)	2.7 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)	2.0 (E)
		G'	4.5	7.7	7.4	7.0	6.7	6.4	6.0	8.1	7.8	7.5	7.2
	600 mm c/c	Q	4.3 (C)	3.8 (C)	3.4 (C)	3.6 (E)	3.2 (E)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.9 (E)	2.6 (E)	2.5 (E)	2.3 (E)
		G'	7.9	7.7	7.4	9.3	9.0	8.7	8.4	9.9	9.6	9.3	9.0
	300 mm c/c	Q	5.3 (C)	5.4 (E)	4.7 (E)	4.7 (E)	4.2 (E)	4.3 (E)	3.9 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)	3.8 (E)	3.6 (E)
		G'	9.7	11.0	11.0	12.0	11.9	12.8	12.6	13.4	13.2	13.8	13.6
	230 mm c/c	Q	6.0 (C)	6.1 (E)	5.9 (E)	5.3 (E)	5.2 (E)	5.2 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)	4.5 (E)	4.5 (E)
		G'	10.8	11.8	12.8	12.9	13.6	14.3	14.2	14.8	15.3	15.2	15.7
150 mm c/c	Q	6.9 (C)	6.8 (C)	6.8 (C)	6.8 (C)	6.7 (E)	6.6 (E)	6.4 (E)	6.3 (E)	6.2 (E)	6.1 (E)	6.1 (E)	
	G'	12.0	13.0	13.8	14.6	15.2	15.8	16.3	16.8	17.2	17.5	17.9	
100 mm c/c	Q	7.5 (C)	7.5 (C)	7.4 (C)	7.5 (C)	7.4 (C)	7.5 (C)	7.4 (C)	7.4 (C)	7.4 (C)	7.4 (C)	7.4 (C)	
	G'	13.0	14.2	15.1	16.0	16.7	17.5	18.0	18.6	19.0	19.6	19.9	
75 mm c/c	Q	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	7.7 (C)	
	G'	13.5	14.7	15.7	16.7	17.5	18.3	18.9	19.5	20.1	20.6	21.1	

Tableau D.6-1 : CANAM P-3606-22 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/13	900 mm c/c	Q	3.0 (C)	4.0 (C)	3.6 (C)	3.2 (C)	2.9 (C)	2.7 (E)	2.4 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)
		G'	4.8	7.8	7.5	7.2	6.8	6.5	6.2	8.2	7.9	7.6	7.3
	600 mm c/c	Q	4.5 (C)	4.0 (C)	3.6 (C)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)
		G'	8.1	7.8	7.5	9.4	9.1	8.8	8.5	9.9	9.7	9.4	9.1
	300 mm c/c	Q	5.7 (C)	5.6 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.4 (E)	4.5 (E)	4.1 (E)	4.2 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)	3.7 (E)
		G'	9.8	11.0	11.0	12.0	12.0	12.8	12.7	13.4	13.2	13.9	13.7
	230 mm c/c	Q	6.6 (E)	6.4 (E)	6.2 (E)	5.5 (E)	5.4 (E)	5.4 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.6 (E)	4.6 (E)
		G'	10.8	11.9	12.8	12.9	13.7	14.3	14.3	14.9	15.4	15.3	15.7
150 mm c/c	Q	7.8 (C)	7.8 (C)	7.4 (E)	7.1 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	6.6 (E)	6.5 (E)	6.4 (E)	6.3 (E)	6.2 (E)	
	G'	12.0	13.0	13.9	14.6	15.2	15.8	16.3	16.8	17.2	17.6	17.9	
100 mm c/c	Q	8.7 (C)	8.7 (C)	8.6 (C)	8.7 (C)	8.6 (C)	8.7 (C)	8.6 (C)	8.6 (C)	8.6 (C)	8.6 (C)	8.6 (C)	
	G'	13.0	14.2	15.1	16.0	16.7	17.5	18.0	18.6	19.0	19.6	19.9	
75 mm c/c	Q	9.1 (C)	9.1 (C)	9.1 (C)	9.1 (C)	9.1 (C)	9.1 (C)	9.0 (C)	9.0 (C)	9.0 (C)	9.0 (C)	9.0 (C)	
	G'	13.5	14.7	15.7	16.7	17.5	18.3	18.9	19.6	20.1	20.6	21.1	
36/14	900 mm c/c	Q	3.0 (C)	4.1 (C)	3.6 (C)	3.2 (C)	2.9 (E)	2.7 (E)	2.4 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)	2.3 (E)	2.1 (E)
		G'	4.8	7.8	7.5	7.2	6.8	6.5	6.2	8.2	7.9	7.6	7.3
	600 mm c/c	Q	4.6 (C)	4.1 (C)	3.6 (C)	3.8 (E)	3.4 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)	3.0 (E)	2.8 (E)	2.6 (E)	2.4 (E)
		G'	8.1	7.8	7.5	9.4	9.1	8.8	8.5	9.9	9.7	9.4	9.1
	300 mm c/c	Q	5.8 (E)	5.6 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.4 (E)	4.5 (E)	4.1 (E)	4.2 (E)	3.9 (E)	3.9 (E)	3.7 (E)
		G'	9.8	11.0	11.0	12.0	12.0	12.8	12.7	13.4	13.2	13.9	13.7
	230 mm c/c	Q	6.6 (E)	6.4 (E)	6.2 (E)	5.5 (E)	5.4 (E)	5.4 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.6 (E)	4.6 (E)
		G'	10.8	11.9	12.8	12.9	13.7	14.3	14.3	14.9	15.4	15.3	15.7
150 mm c/c	Q	8.2 (C)	7.8 (E)	7.4 (E)	7.1 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	6.6 (E)	6.5 (E)	6.4 (E)	6.3 (E)	6.2 (E)	
	G'	12.0	13.0	13.9	14.6	15.2	15.8	16.3	16.8	17.2	17.6	17.9	
100 mm c/c	Q	9.2 (C)	9.3 (C)	9.2 (C)	9.3 (C)	9.2 (C)	9.2 (C)	9.1 (E)	9.2 (E)	8.9 (E)	8.9 (E)	8.7 (E)	
	G'	13.0	14.2	15.1	16.0	16.7	17.5	18.0	18.6	19.0	19.6	19.9	
75 mm c/c	Q	9.7 (C)	9.7 (C)	9.7 (C)	9.7 (C)	9.7 (C)	9.7 (C)	9.7 (C)	9.7 (C)	9.7 (C)	9.7 (C)	9.7 (C)	
	G'	13.5	14.7	15.7	16.7	17.5	18.3	18.9	19.6	20.1	20.6	21.1	

Tableau D.6-1 : CANAM P-3606-22 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/18	900 mm c/c	Q	4.9 (C)	5.6 (C)	5.0 (C)	4.5 (C)	4.1 (C)	3.7 (I)	3.4 (I)	3.6 (E)	3.3 (E)	3.1 (E)	2.9 (E)
		G'	6.2	8.6	8.3	8.0	7.7	7.4	7.1	8.8	8.5	8.2	8.0
	600 mm c/c	Q	6.4 (C)	5.6 (C)	5.0 (C)	5.2 (E)	4.7 (E)	4.3 (E)	3.9 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)	3.2 (E)
		G'	8.7	8.6	8.3	10.0	9.7	9.4	9.1	10.5	10.2	9.9	9.6
	300 mm c/c	Q	7.6 (C)	7.4 (E)	6.5 (E)	6.3 (E)	5.7 (E)	5.6 (E)	5.1 (E)	5.1 (E)	4.8 (E)	4.8 (E)	4.5 (E)
		G'	10.2	11.3	11.4	12.4	12.3	13.1	13.0	13.7	13.5	14.1	13.9
	230 mm c/c	Q	8.7 (C)	8.1 (E)	7.7 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	6.5 (E)	6.0 (E)	5.9 (E)	5.8 (E)	5.4 (E)	5.4 (E)
		G'	11.1	12.1	13.0	13.2	13.9	14.5	14.5	15.1	15.6	15.5	15.9
150 mm c/c	Q	10.2 (C)	9.6 (E)	9.0 (E)	8.5 (E)	8.2 (E)	7.9 (E)	7.6 (E)	7.4 (E)	7.2 (E)	7.1 (E)	7.0 (E)	
	G'	12.2	13.2	14.0	14.7	15.4	15.9	16.4	16.9	17.3	17.7	18.0	
100 mm c/c	Q	11.5 (C)	11.6 (C)	11.4 (C)	11.3 (E)	10.7 (E)	10.6 (E)	10.1 (E)	10.1 (E)	9.7 (E)	9.8 (E)	9.5 (E)	
	G'	13.0	14.3	15.1	16.1	16.8	17.5	18.1	18.7	19.1	19.7	20.0	
75 mm c/c	Q	12.3 (C)	12.3 (C)	12.2 (C)	12.2 (C)	12.2 (C)	12.2 (C)	12.1 (C)	12.1 (C)	12.1 (C)	12.1 (E)	11.9 (E)	
	G'	13.5	14.7	15.8	16.7	17.6	18.3	19.0	19.6	20.2	20.7	21.1	
36/22	900 mm c/c	Q	5.8 (C)	6.5 (C)	5.7 (C)	5.2 (C)	4.7 (C)	4.2 (I)	3.9 (I)	4.2 (E)	3.9 (E)	3.7 (E)	3.4 (E)
		G'	6.9	9.0	8.8	8.6	8.2	7.9	7.6	9.2	8.9	8.6	8.4
	600 mm c/c	Q	7.4 (C)	6.5 (C)	5.7 (C)	6.1 (E)	5.5 (E)	5.0 (E)	4.6 (E)	4.6 (E)	4.3 (E)	4.0 (E)	3.7 (E)
		G'	9.1	9.0	8.8	10.3	10.1	9.8	9.5	10.8	10.5	10.2	9.9
	300 mm c/c	Q	8.7 (C)	8.6 (E)	7.5 (E)	7.2 (E)	6.5 (E)	6.4 (E)	5.8 (E)	5.8 (E)	5.4 (E)	5.3 (E)	5.0 (E)
		G'	10.4	11.5	11.6	12.6	12.5	13.3	13.2	13.9	13.7	14.3	14.1
	230 mm c/c	Q	9.9 (C)	9.3 (E)	8.8 (E)	7.8 (E)	7.5 (E)	7.3 (E)	6.7 (E)	6.5 (E)	6.4 (E)	6.0 (E)	5.9 (E)
		G'	11.3	12.3	13.1	13.3	14.0	14.7	14.7	15.2	15.7	15.6	16.0
150 mm c/c	Q	11.7 (C)	10.8 (E)	10.0 (E)	9.5 (E)	9.0 (E)	8.6 (E)	8.3 (E)	8.1 (E)	7.8 (E)	7.6 (E)	7.5 (E)	
	G'	12.3	13.2	14.1	14.8	15.5	16.0	16.5	17.0	17.4	17.8	18.1	
100 mm c/c	Q	13.5 (C)	13.5 (C)	12.5 (E)	12.2 (E)	11.5 (E)	11.4 (E)	10.8 (E)	10.8 (E)	10.3 (E)	10.3 (E)	10.0 (E)	
	G'	13.1	14.3	15.2	16.1	16.8	17.6	18.1	18.7	19.2	19.7	20.0	
75 mm c/c	Q	14.6 (C)	14.5 (C)	14.4 (C)	14.4 (C)	14.0 (E)	13.6 (E)	13.3 (E)	13.1 (E)	12.8 (E)	12.6 (E)	12.5 (E)	
	G'	13.5	14.8	15.8	16.8	17.6	18.3	19.0	19.6	20.2	20.7	21.1	

Tableau D.6-1 : CANAM P-3606-22 – Rotho-TBS-6x80 (Suite)

Patron au support	Espacement au joint latéral		Portée c/c (mm)										
			900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400
36/28	900 mm c/c	Q	6.2 (C)	6.8 (C)	6.0 (C)	5.4 (I)	4.8 (I)	4.4 (I)	4.0 (I)	4.5 (E)	4.2 (E)	3.9 (I)	3.7 (I)
		G'	7.3	9.3	9.1	8.8	8.5	8.2	7.8	9.4	9.1	8.8	8.6
	600 mm c/c	Q	7.8 (C)	6.8 (C)	6.0 (C)	6.6 (C)	5.9 (E)	5.4 (E)	4.9 (E)	4.9 (E)	4.6 (E)	4.3 (E)	4.0 (E)
		G'	9.3	9.3	9.1	10.5	10.3	10.0	9.7	10.9	10.7	10.4	10.1
	300 mm c/c	Q	9.4 (C)	9.2 (E)	8.0 (E)	7.7 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	6.2 (E)	6.1 (E)	5.6 (E)	5.6 (E)	5.2 (E)
		G'	10.5	11.6	11.8	12.7	12.6	13.4	13.3	14.0	13.8	14.4	14.2
	230 mm c/c	Q	10.7 (C)	9.9 (E)	9.3 (E)	8.3 (E)	7.9 (E)	7.7 (E)	7.0 (E)	6.9 (E)	6.7 (E)	6.3 (E)	6.2 (E)
		G'	11.3	12.3	13.2	13.4	14.1	14.7	14.7	15.3	15.7	15.7	16.1
	150 mm c/c	Q	12.4 (E)	11.3 (E)	10.5 (E)	9.9 (E)	9.4 (E)	9.0 (E)	8.7 (E)	8.4 (E)	8.1 (E)	7.9 (E)	7.7 (E)
		G'	12.3	13.3	14.1	14.9	15.5	16.1	16.6	17.0	17.4	17.8	18.1
	100 mm c/c	Q	14.9 (E)	14.2 (E)	13.0 (E)	12.7 (E)	11.9 (E)	11.7 (E)	11.2 (E)	11.1 (E)	10.6 (E)	10.6 (E)	10.2 (E)
		G'	13.1	14.3	15.2	16.2	16.8	17.6	18.1	18.8	19.2	19.7	20.0
	75 mm c/c	Q	17.3 (C)	16.3 (E)	15.5 (E)	14.9 (E)	14.4 (E)	14.0 (E)	13.7 (E)	13.4 (E)	13.1 (E)	12.9 (E)	12.7 (E)
		G'	13.6	14.8	15.8	16.8	17.6	18.4	19.0	19.6	20.2	20.7	21.2

ANNEXE E. CONFIGURATIONS SUPPLÉMENTAIRES POUR ANALYSE ÉCONOMIQUE

E.1. Notes de calculs

E.1.1. Calcul charge sismique

Efforts

Selon CNBC 2015 [15],

Puisque « Ossature de bois contreventé de ductilité moyenne » :

$$R_d = 2.0 \text{ et } R_0 = 1.5$$

$$I_E = 1.0$$

$$V \begin{cases} = S(T_a)M_V I_E W / (R_d R_0) \\ \geq S(2.0)M_V I_E W / (R_d R_0) \\ \leq \begin{cases} \frac{2}{3} S(0.2)I_E W / (R_d R_0) \\ S(0.5)I_E W / (R_d R_0) \end{cases} \end{cases}$$

$$T_s = 0.025h_n \text{ où } h_n = 8.382 \text{ m donc } T_s = 0.2096 \text{ s}$$

Puis que $T_s = 0.2096 \text{ s}$, $S(T_a)$ doit être la valeur interpoler entre $\max \left[\frac{F(0.2)S_a(0.2)}{F(0.5)S_a(0.5)} \right]$ et $F(0.5)S_a(0.5)$, donc $S(T_a) = 0.74404 g$; $S(0.2) = 0.752 g$; $S(0.5) = 0.489 g$; $S(2.0) = 0.125 g$; $S(5.0) = 0.0329 g$

Puisque $S(0.2)/S(5.0) = 22.85$ et $T_s = 0.2096 \text{ s}$, $M_V = 1$ et $J = 1$

Donc

$$V \begin{cases} = 0.74404 W / 3 = 0.2480 W \\ \geq 0.125 W / 3 = 0.0416 W \\ \leq \begin{cases} \frac{2}{3} 0.752 W / 3 = 0.1672 W \\ 0.489 W / 3 = -0.1630 W \end{cases} \end{cases}$$

Donc $V = 0.1630 W$

Considérant les charges morte et de neige : $W_{toit} = 762.14 \text{ kN}$; $W_{etage} = 2209.12 \text{ kN}$; $W_{total} = 2971.26 \text{ kN}$ et les hauteurs : $h_{toit} = 8.382 \text{ m}$; $h_{etage} = 3.764 \text{ m}$

Donc $V_{total} = 484.47 \text{ kN}$; $F_{toit} = 210.49 \text{ kN}$; $F_{etage} = 273.98 \text{ kN}$

Considérant les dimensions du bâtiment $D_{axe A-K} = 31.85 \text{ m}$; $D_{axe 1-3} = 13.872 \text{ m}$, et qu'il y a 2 baies de contreventement par côté du bâtiment (1 diagonale dans chaque direction), en incluant les forces notionnelle et la torsion accidentelle, la force totale F_i .

Tableau E.1-1 : Force totale F_i (kN)

	AXE A-K	AXE 1-3
Toit	235	235
Étage	544	544

La force axiale dans chaque membrure F_D est une conversion en fonction de l'angle de la membrure et qu'il y a 4 membrures dans chaque direction pour reprendre l'effort.

Tableau E.1-2 : Force axiale par membrure V_{fi} (kN)

	AXE A-K	AXE 1-3
Toit	101	120
Étage	206	240

Résistance

Selon CSA O86-14 [4]

Considérant :

Grade GL VF-24F-1.8E : $f_{tg} = 7.58 \text{ MPa}$, $f_c = 11.38 \text{ MPa}$, $E = 12400 \text{ MPa}$

$K_D = 1.15$, $K_H = 1.0$, $K_{Sc} = 1.0$, $K_T = 1.0$, $\phi_T = 0.9$, $\phi_C = 0.8$, $K_{SE} = 1.0$

175 mm x 190 mm pour entre Toit et Étage, 175 mm x 266 mm pour entre Étage et Sol

Tableau E.1-3 : Résistance en tension V_{ri} (kN)

	AXE A-K	AXE 1-3
Toit	260	260
Étage	365	365

Tableau E.1-4 : Résistance en compression V_{ri} (kN)

	AXE A-K	AXE 1-3
Toit	146	161
Étage	239	267

Ce qui est suffisant pour résister.

Efforts et déplacements du diaphragme

Considérant les articles 11.8.3.1 et 11.8.5.2.2 de la norme CSA O86-14 [4],

$$V_{Di} = 1.2 \frac{V_{ri}}{V_{fi}} F_{fi}$$

Tableau E.1-5 : Efforts à la capacité dans le diaphragme (kN)

	AXE A-K	AXE 1-3
Toit	411	384
Étage	761	730

Ces efforts induisent des déformations dans le système vertical de reprise des forces sismiques (SRFS). La déformation horizontale Δ_{fi} est proportionnelle à la déformation axiale de la membrure du contreventement en fonction de la géométrie des contreventements.

$$\Delta_{fi} \propto \delta_f$$

Où δ_f est la déformation axiale

$$\delta_f = \frac{F_i l_i}{A_i E}$$

Où

l_i est la longueur initiale de la membrure

A_i est l'aire de la section de la membrure

Tableau E.1-6 : Déplacement horizontale par membrure (mm)

	AXE A-K	AXE 1-3
Toit	4.16	2.57
Étage	7.54	4.48

Pour un déplacement total au toit égale à

$$\Delta_{f \text{ total}} = \frac{R_d R_0}{I_E} \sum \Delta_{fi} \text{ pour chaque direction, cumulant chaque étage}$$

Tableau E.1-7 : Déplacement horizontale total Δ_f (mm)

	AXE A-K	AXE 1-3
Total	140.4	84.6

Distribution des efforts dans les différentes sections du diaphragme

Pour déterminer le cisaillement en différent point du diaphragme, le diaphragme a été assimilé à une poutre uniformément chargé. La charge uniforme est égale à :

$$V_x = \frac{V_D}{B} \left(\frac{l}{2} - x \right) / l$$

Où

B est la dimension perpendiculaire à la direction de l'effort (m)

l est la dimension parallèle à la direction de l'effort (m)

x est la distance entre un côté et l'axe (m)

Les résultats de ces calculs sont présentés au Tableau 5.1-6.

E.1.2. Calcul charge de vent

Efforts

Selon CNBC 2015 [15],

$$P_e = I_W q C_e C_t C_p C_g \text{ (kPa)}$$

Où

I_W est le coefficient de risque de la charge de vent

$$I_W = 1.0$$

q est la pression dynamique de référence (kPa)

$$q = 0.35 \text{ kPa}$$

C_e est le coefficient d'exposition

$$C_e = 0.83$$

C_t est le coefficient topographique

$$C_t = 1.0$$

$C_p C_g$ est le coefficient de rafale et coefficient de pression extérieur

Considérant la Figure 4.1.7.6-A du CNBC 2015 [15] et que l'angle du toit du bâtiment est 0° , les valeurs de $C_p C_g$ sont au Tableau E.1-8. Ils représentent La somme des efforts de succions et pression critique pour chaque mur.

Tableau E.1-8 : Valeur de $C_p C_g$

	AXE A-K	AXE 1-3
Coin	1.95	1.95
Général	1.30	1.30

Donc la pression totale appliquée pour chaque direction sont :

Tableau E.1-9 : Pression totale du vent (kPa)

	AXE A-K	AXE 1-3
Coin	1.307	1.307
Général	0.906	0.906

Les pressions aux coins sont appliquées sur $y = 6$ m et $z = 1.39$ m.

Considérant que la hauteur tributaire au vent reprise par le toit est de 2.309 m, la longueur du bâtiment est 31.850 m et la largeur 13.872 m, les efforts repris par chaque contreventement sont :

Tableau E.1-10 : Efforts pondérés du vent par contreventement (kN)

	AXE A-K	AXE 1-3
Toit	23.562	9.572

Les efforts pondérés convertissent en des efforts totaux de :

Tableau E.1-11 : Efforts pondérés totaux V_f du vent (kN)

	AXE A-K	AXE 1-3
Toit	326.86	304.99

Distribution des efforts dans les différentes sections du diaphragme

Pour déterminer le cisaillement en différent point du diaphragme, le diaphragme a été assimilé à une poutre uniformément chargée. La charge uniforme est égale à :

$$V_x = \frac{V_f}{B} \left(\frac{l}{2} - x \right) / l$$

Où

B est la dimension perpendiculaire à direction de l'effort (m)

l est la dimension parallèle à direction de l'effort (m)

x est la distance entre un côté et l'axe (m)

Les résultats de ces calculs sont présentés au Tableau 5.1-6.

E.2. Configuration Clou avec charges réduites si pontage restreint à type 20

Tableau E.2-1 : Configuration CLOU avec charges réduites-20 – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	20	20	20	20
Connecteur intérieur	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/9	36/9	36/11	36/22
Connecteur en Bout	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/9	36/9	36/11	36/22
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	230	75	230	150	150
Joints latéraux sur poutre	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Espacement (mm)	75	150	150	100	75
Résistance (kN/m)	Requise	6.60	3.03	2.88	3.60	6.60
	Calculée	6.62	3.05	2.90	3.70	6.71
	Mode de contrôle	E	C	C	C	E
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Calculée	18.94	16.94	16.62	19.81	21.30

Tableau E.2-2 : Configuration CLOU avec charges réduites-20 - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1818	732	1275	1357	1529	6711	15.19
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	7	1	1	2	6	17	0.04
	Installation	63	8	13	17	47	147	0.33
Connecteur en bout	Matériaux	2	0	1	1	1	5	0.01
	Installation	16	4	8	6	12	45	0.10
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	1	0	0	1	1	4	0.01
	Installation	12	2	4	7	10	36	0.08
TOTAL		2564	1008	1755	1870	2146	9344	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		21.42	20.91	20.90	20.94	21.33		21.15

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

E.3. Configuration SST-HJ avec charges réduites si pontage restreint à type 20

Tableau E.3-1 : Configuration SST-HJ avec charges réduites-20 – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	20	20	20	20
Connecteur intérieur	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Patron	36/9	36/9	36/7	36/9	36/9
Connecteur en Bout	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Patron	36/18	36/9	36/7	36/9	36/18
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	150	300	150	150	150
Joints latéraux sur poutre	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Espacement (mm)	75	230	150	150	75
Résistance (kN/m)	Requise	6.60	3.03	2.88	3.60	6.60
	Calculée	7.27	3.41	2.89	3.79	7.25
	Mode de contrôle	C	C	C	C	C
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Calculée	22.26	11.39	19.75	19.79	21.18

Tableau E.3-2 : Configuration SST-HJ avec charges réduites-20 - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1818	732	1275	1357	1529	6711	15.19
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	24	12	15	18	24	93	0.21
	Installation	42	21	26	31	42	161	0.37
Connecteur en bout	Matériaux	13	6	10	6	13	48	0.11
	Installation	22	10	17	10	22	83	0.19
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	19	2	7	6	16	49	0.11
	Installation	33	3	12	11	27	86	0.19
TOTAL		2616	1045	1813	1921	2214	9609	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		21.85	21.68	21.60	21.50	22.00		21.75

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

E.4. Configuration Rotho TBS 6x80 avec charges réduites si pontage restreint à type 20

Tableau E.4-1 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites-20 – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	20	20	20	20
Connecteur intérieur	Type	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80
	Patron	36/7	36/7	36/7	36/7	36/7
Connecteur en Bout	Type	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80
	Patron	36/13	36/7	36/7	36/7	36/13
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	150	300	300	150	150
Joints latéraux sur poutre	Type	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80
	Espacement (mm)	100	230	230	150	100
Résistance (kN/m)	Requise	6.60	3.03	2.88	3.60	6.60
	Calculée	6.75	3.30	3.27	3.69	6.73
	Mode de contrôle	C	C	E	C	C
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Calculée	22.22	11.31	15.34	19.76	21.14

Tableau E.4-2 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites-20 - Ventilation des coût
(en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1818	732	1275	1357	1529	6711	15.19
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	49	25	37	37	49	197	0.45
	Installation	205	103	154	154	205	821	1.86
Connecteur en bout	Matériaux	25	12	25	12	25	99	0.22
	Installation	103	51	103	51	103	411	0.93
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	38	6	11	18	31	104	0.23
	Installation	158	24	44	76	130	432	0.98
TOTAL		3040	1212	2100	2186	2613	11152	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		25.40	25.15	25.01	24.47	25.97		25.24

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

E.5. Configuration Optimisée avec charges réduites si pontage restreint à type 20

Tableau E.5-1 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-20 – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	20	20	20	20
Connecteur intérieur	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/9	36/9	36/11	36/22
Connecteur en Bout	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/9	36/9	36/11	36/22
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	230	75	230	150	150
Joints latéraux sur poutre	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Espacement (mm)	75	150	150	100	75
Résistance (kN/m)	Requise	6.60	3.03	2.88	3.60	6.60
	Calculée	6.62	3.05	2.90	3.70	6.71
	Mode de contrôle	E	C	C	C	E
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Calculée	18.94	16.94	16.62	19.81	21.30

Tableau E.5-2 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-20 - Ventilation des coût
(en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1818	732	1275	1357	1529	6711	15.19
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	7	1	1	2	6	17	0.04
	Installation	63	8	13	17	47	147	0.33
Connecteur en bout	Matériaux	2	0	1	1	1	5	0.01
	Installation	16	4	8	6	12	45	0.10
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	1	0	0	1	1	4	0.01
	Installation	12	2	4	7	10	36	0.08
TOTAL		2564	1008	1755	1870	2146	9344	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		21.42	20.91	20.90	20.94	21.33		21.15

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

E.6. Configuration SST-HJ avec charges réduites si pré-perçage

Tableau E.6-1 : Configuration SST-HJ avec charges réduites-PP – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		22	22	22	22	22
Connecteur intérieur	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Patron	36/9	36/9	36/9	36/9	36/9
Connecteur en Bout	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Patron	36/22	36/9	36/9	36/9	36/18
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	150	300	300	100	150
Joints latéraux sur poutre	Type	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ	SST HJ
	Espacement (mm)	75	230	150	150	75
Résistance (kN/m)	Requise	6.60	3.03	2.88	3.60	6.60
	Calculée	7.07	3.17	3.29	3.67	6.69
	Mode de contrôle	E	C	C	E	C
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Calculée	18.00	8.91	12.47	17.33	16.96

Tableau E.6-2 : Configuration SST-HJ avec charges réduites-PP - Ventilation des coût (en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1577	635	1106	1177	1326	5821	13.18
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	24	12	18	18	24	96	0.22
	Installation	167	84	125	125	167	668	1.51
Connecteur en bout	Matériaux	17	6	12	6	13	54	0.12
	Installation	117	42	84	42	90	374	0.85
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	19	2	6	6	16	49	0.11
	Installation	133	11	41	44	108	337	0.76
TOTAL		2699	1050	1844	1899	2285	9777	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		22.54	21.78	21.97	21.26	22.70		22.13

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

E.7. Configuration Optimisée avec charges réduites si pré-perçage

Tableau E.7-1 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-PP – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		20	22	22	22	20
Connecteur intérieur	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/11	36/11	36/13	36/22
Connecteur en Bout	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Patron	36/28	36/11	36/11	36/13	36/22
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	150	300	300	230	150
Joints latéraux sur poutre	Type	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11
	Espacement (mm)	75	150	150	100	75
Résistance (kN/m)	Requise	6.60	3.03	2.88	3.60	6.60
	Calculée	6.62	3.06	3.19	3.75	6.71
	Mode de contrôle	E	C	C	C	E
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Calculée	22.39	8.95	12.51	13.34	21.30

Tableau E.7-2 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-PP - Ventilation des coût
(en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1818	635	1106	1177	1529	6265	14.18
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	7	1	2	2	6	19	0.04
	Installation	63	11	17	21	47	158	0.36
Connecteur en bout	Matériaux	2	1	1	1	1	6	0.01
	Installation	16	6	11	7	12	51	0.11
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	1	0	0	1	1	4	0.01
	Installation	12	2	4	7	10	36	0.08
TOTAL		2564	915	1593	1697	2146	8916	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		21.42	18.99	18.98	18.99	21.33		20.18

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

E.8. Configuration Rotho TBS 6x80 avec charges réduites si aucun pré-perçage

Tableau E.8-1 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites-NPP – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		22	22	22	22	22
Connecteur intérieur	Type	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80
	Patron	36/7	36/7	36/7	36/7	36/7
Connecteur en Bout	Type	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80
	Patron	36/18	36/7	36/7	36/7	36/18
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	150	300	300	75	150
Joints latéraux sur poutre	Type	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80	Rotho TBS 6x80
	Espacement (mm)	100	230	230	150	100
Résistance (kN/m)	Requise	6.60	3.03	2.88	3.60	6.60
	Calculée	6.80	3.06	3.13	3.62	6.94
	Mode de contrôle	E	C	E	C	E
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Calculée	17.97	8.86	12.42	18.12	16.94

Tableau E.8-2 : Configuration ROTHO-TBS avec charges réduites-NPP - Ventilation des coût
(en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1577	635	1106	1177	1326	5821	13.18
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	49	25	37	37	49	197	0.45
	Installation	103	51	77	77	103	411	0.93
Connecteur en bout	Matériaux	32	12	25	12	32	114	0.26
	Installation	67	26	51	26	67	237	0.54
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	36	6	11	18	29	100	0.23
	Installation	75	12	22	38	61	208	0.47
TOTAL		2584	1026	1780	1866	2209	9466	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		21.59	21.29	21.21	20.89	21.95		21.42

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

E.9. Configuration Optimisée avec charges réduites si aucun pré-perçage

Tableau E.9-1 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites –NPP – Conception

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K
Espacement entre poutrelles (m)		1.726	1.158	1.513	1.61	1.451
Nombre de poutrelles		5	3	4	4	5
Type de pontage		22	22	22	22	22
Connecteur intérieur	Type	SST HJ	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	SST HJ
	Patron	36/4	36/11	36/11	36/13	36/4
Connecteur en Bout	Type	SST HJ	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	SST HJ
	Patron	36/22	36/11	36/11	36/13	36/18
Joints latéraux intérieurs	Type	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12	vis #12
	Espacement (mm)	150	300	300	230	150
Joints latéraux sur poutre	Type	SST HJ	Clou à toit #11	Clou à toit #11	Clou à toit #11	SST HJ
	Espacement (mm)	75	150	150	100	75
Résistance (kN/m)	Requise	6.60	3.03	2.88	3.60	6.60
	Calculée	6.74	3.06	3.19	3.75	6.63
	Mode de contrôle	E	C	C	C	C
Rigidité (kN/mm)	Requise	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Calculée	17.97	8.95	12.51	13.34	16.93

Tableau E.9-2 : Configuration OPTIMISÉE avec charges réduites-NPP – Ventilation des coût
(en \$)

SECTION DE PANNEAU ÉVALUÉE		A-D	D-E	E-F	F-H	H-K	TOTAL	COÛT PAR SURFACE (\$/m ²)
Matériaux panneaux		1577	635	1106	1177	1326	5821	13.18
Installation panneau *		644	259	452	481	542	2378	5.38
Connecteur intérieur	Matériaux	8	1	2	2	8	22	0.05
	Installation	14	11	17	21	14	77	0.17
Connecteur en bout	Matériaux	17	1	1	1	13	32	0.07
	Installation	29	6	11	7	22	75	0.17
Joints latéraux sur poutre	Matériaux	20	0	0	1	16	38	0.09
	Installation	35	2	4	7	28	77	0.17
TOTAL		2345	915	1593	1697	1970	8520	
COÛT PAR SURFACE (\$/m²)		19.58	18.99	18.98	18.99	19.57		19.28

* : Inclus le coût en matériaux et le coût d'installation des joints latéraux intérieurs

ANNEXE F. ESSAIS À GRANDE DIMENSION

Dans la mouture initiale de ce projet de recherche, des essais de cisaillement de diaphragme à grande dimension avaient été envisagés. Pour des raisons de délais, ces essais n'ont pas été effectués. Par contre, le montage expérimental prévu est présenté à la Figure F-1. Considérant les conclusions de ce mémoire, ces essais permettraient de valider si la méthode de calcul d'un diaphragme, proposée au Chapitre 4 qui est basée sur le manuel SDI-DDM04 [3]. Ces essais permettraient aussi de confirmer les valeurs de résistances et de rigidité contenues dans les tables de calcul de diaphragme de l'Annexe D.

Le montage expérimental est basé sur celui proposé par Tremblay et al. [34] pour les diaphragmes entièrement en acier. Le montage préliminaire spécifique développé pour ce projet est présenté à la Figure F-1.

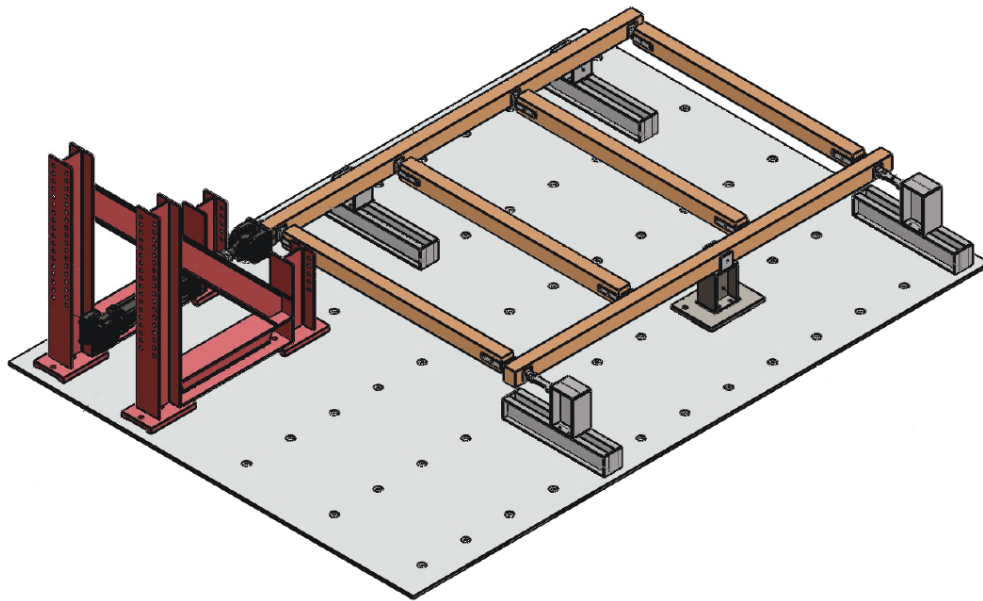


Figure F-1 : Montage expérimental pour essai à grande échelle.

Les dimensions des pièces de bois composant le cadre d'essai ainsi que la résistance des assemblages n'ont pas été calculés. Pour s'assurer que la rigidité du cadre d'essai n'influence pas significativement les résultats, des connexions rotulées sont prévues au bout de chaque poutrelles. La structure formant le cadre d'essai est supportée verticalement par des supports glissants ajustables limitants ainsi les forces de friction horizontales. Des jambages de force sont positionnées dans les coins pour reprendre les efforts appliqués et mesurer les forces de réaction.

La dimension totale du diaphragme testé est de 3 m par 4 m. Considérant les configurations de diaphragme présentées à l'Annexe D, un vérin permettant de générer des efforts entre 1.6 et 54.4 kN serait suffisant. Par contre ce calcul ne tient pas compte d'essais impliquant des pontages plus épais qu'un pontage de calibre 20 et/ou ayant un patron de connexion plus dense que 36/28 : 75 mm c/c. Ce montage a été planifié pour être construit dans les laboratoires de l'Université de Sherbrooke selon les patrons d'ancrage au sol et les équipements déjà disponibles.